

# BALANCED POSITIONING SYSTEM FOR USE IN LITHOGRAPHIC PROJECTION APPARATUS

P-0363.5

Patent number: JP2002015985  
Publication date: 2002-01-18  
Inventor: KWAN YIM BUN PATRICK; VAN DE WIEL WILHELMUS J T P  
Applicant: ASM LITHOGRAPHY BV  
Classification:  
- international: H01L21/027; G03F7/20; G12B5/00  
- european: G03F7/20T24; G03F7/20T26  
Application number: JP20000404377 20001219  
Priority number(s): EP19990310324 19991221; EP19990310371 19991221

[View INPADOC patent family](#)

Also Published : US6525803 (B2);US2001006762 (A1)

## Abstract of JP2002015985

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a balanced system which is easily expanded for multi- freeness, while being used for various drive mechanisms, for absorbing a reaction when a mask or board table is driven, which is the main cause for vibration degrading precision of a lithographic projection apparatus. **SOLUTION:** On a guide surface 4 on a base of the projection apparatus, a non-friction bearing 3 provides free support for translation of a balance frame 2 in X and Y directions, as well as rotation about an axis parallel in Z-direction. A positioning system 10 of a board table WT, which is an H-type driving device, is provided on the balance frame, to which the reaction arising from positioning action of the board table is transferred directly or indirectly. The mass of the balance frame is much larger than that of combination of the table and the positioning system, and the reaction at positioning is absorbed easily. Since the board table is located at the central opening of the balance frame, a difference between levels of both mass centers is reduced.

Claims of corresponding document: **US2001006762**

A lithographic projection apparatus comprising:  
an illumination system for supplying a projection beam of radiation;  
a first object table for holding patterning means capable of patterning the projection beam according to a desired pattern;  
a second object table for holding a substrate; and  
a projection system for imaging the patterned beam onto a target portion of the substrate; and  
a balanced positioning system capable of positioning at least one of said object tables in more than three degrees of freedom, the positioning system comprising:  
at least one balance mass;  
a bearing means for movably supporting said balance mass;  
a coarse positioning means for positioning said object table in first to third degrees of freedom, said three degrees of freedom being translation in first and second directions and rotation about a third direction, said first, second and third directions being substantially mutually orthogonal; and  
a fine positioning means for positioning said object table in at least a fourth degree of freedom substantially orthogonal

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-15985

(P2002-15985A)

(43)公開日 平成14年1月18日(2002.1.18)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	FI	テーマコード(参考)
H01L 21/027		G03F 7/20	521 2F078
G03F 7/20	521	G12B 5/00	T 5F046
G12B 5/00		H01L 21/30	503B
			516B

審査請求 未請求 請求項の数19 OL 外国語出願 (全 47 頁)

(21)出願番号 特願2000-404377(P2000-404377)  
(22)出願日 平成12年12月19日(2000.12.19)  
(31)優先権主張番号 99310324.1  
(32)優先日 平成11年12月21日(1999.12.21)  
(33)優先権主張国 欧州特許庁 (EP)  
(31)優先権主張番号 99310371.2  
(32)優先日 平成11年12月21日(1999.12.21)  
(33)優先権主張国 欧州特許庁 (EP)

(71)出願人 599045866  
エイエスエム リトグラフィー ベスロー  
テン フェンノートシャップ  
オランダ国フェルトホーフェン、デ ルン  
1110  
(72)発明者 イイムブン バトリック、クワン  
オランダ国 エイントホーフェン、 セン  
ト ニカシウスシュトラート 29ビー  
(74)代理人 100066692  
弁理士 浅村 皓 (外3名)

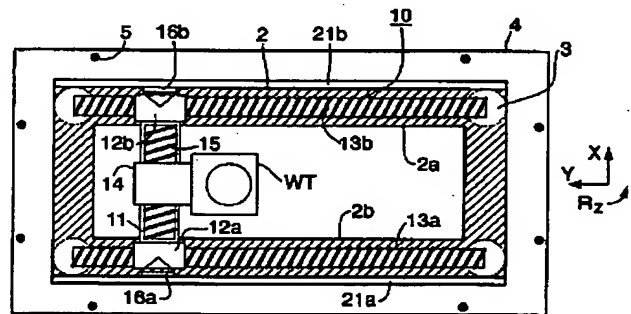
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 リソグラフィ投影装置に使うための平衡位置決めシステム

(57)【要約】

【課題】 リソグラフィ投影装置の精度を損う振動の主な原因である、マスクまたは基板テーブルを駆動する際の反力を吸収するための、容易に多自由度へ拡張でき、種々の異なる駆動機構に使えるような平衡システムを提供すること。

【解決手段】 この投影装置のベース上の案内面4上に無摩擦軸受3によって平衡フレーム2をX、Y方向の並進およびZ方向に平行な軸周りの回転が自由に支持する。H形駆動装置である、基板テーブルWTの位置決めシステム10をこの平衡フレーム上に配置し、それに基板テーブルの位置決め動作の反力が直接、間接伝達されるようにする。この平衡フレームの質量は、テーブルと位置決めシステムの組合わせた質量より遙かに大きいので位置決め反力を容易に吸収する。基板テーブルが平衡フレームの中央開口の中にあるので、両者の質量中心の高さの差を縮めることができる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 リソグラフィ投影装置であって：放射線の投影ビーム(PB)を供給するための照明システム(IL)；所望のパターンに従ってこの投影ビームをパターンニングすることが出来るパターンニング手段(MA)を保持するための第1物体テーブル(MT)；基板(W)を保持するための第2物体テーブル(WT)；このパターン化したビームをこの基板の目標部分(C)上に結像するための投影システム(PL)；および上記物体テーブルの少なくとも一つを3を超える自由度で位置決めできる平衡位置決めシステム(10)；を含み、この位置決めシステムが：少なくとも一つの平衡質量(2)；上記平衡質量を可動に支持するための軸受手段(3)；上記物体テーブルを第1ないし第3自由度で位置決めするための粗位置決め手段で、上記3自由度が第1および第2方向(X、Y)の並進並びに第3方向(Z)周りの回転(Rz)であり、上記第1、第2および第3方向が実質的に相互に直交する手段；および上記物体テーブルを上記第1、第2および第3と実質的に直交する少なくとも第4自由度(Z)で位置決めするための微細位置決め手段で、上記粗および微細位置決め手段は、上記粗および微細位置決め手段からの反力を上記平衡質量へ伝えるように配置してある手段を含み：上記平衡質量を上記軸受手段によって少なくとも上記第4自由度で実質的に自由に動けるように支持することを特徴とする投影装置。

【請求項2】 請求項1による装置であって、更に、上記第1および第2方向(X、Y)に平行に拡がる案内面を有するベース板(BP)を含み、上記軸受手段は、上記案内面に載り且つ上記第3方向に低剛性を有する支持体によって上記平衡質量(2)に結合された、複数の実質的に無摩擦の軸受(3)を含む装置。

【請求項3】 請求項2による装置に於いて、上記軸受(3)を、空気静圧軸受、液静圧軸受および磁気軸受を含むグループから選択した装置。

【請求項4】 請求項2または請求項3による装置に於いて、上記支持体を、弾性ばねおよびガスばねを含むグループから選択した装置。

【請求項5】 請求項1による装置であって、更に、上記第1および第2方向(X、Y)に平行に拡がる案内面(4)を有するベース板(BP)を含み、上記軸受手段が上記案内面上に複数の低剛性の実質的な無摩擦軸受(3)を含む装置。

【請求項6】 請求項2または請求項5による装置に於いて、上記平衡質量は、その側辺(2a、2b、2c、2d)が上記第1および第2方向(X、Y)と一般的に平行な全体として矩形のフレーム(2)を含む装置。

【請求項7】 請求項6による装置に於いて、上記全体として矩形のフレーム(2)が中央開口を有し、上記物体テーブル(WT)が少なくとも部分的に上記中央開口

内に配置してある装置。

【請求項8】 請求項7による装置に於いて、上記物体テーブル(WT)が上記案内面上(4)に上記物体テーブルを支持するための低剛性軸受を有する装置。

【請求項9】 請求項1による装置に於いて、上記平衡質量(2)が上記第1および第2方向(X、Y)に平行に拡がる案内面を有し、上記装置が、更に、上記案内面に載る実質的に無摩擦の軸受(3)を有するベース(BP)を含み、上記軸受を上記ベースから上記第3方向(Z)に低剛性を有する支持体によって支持してある装置。

【請求項10】 請求項9による装置に於いて、上記平衡質量(2)が上記案内面と実質的に平行な更なる案内面を有し、上記物体テーブル(WT)が上記更なる案内面に載る実質的に無摩擦の軸受を備える装置。

【請求項11】 請求項10による装置に於いて、上記粗位置決め手段(10)が上記第1方向(X)に一般的に平行に伸びるビーム(11)、および上記物体テーブル(WT)を上記ビームに関して上記第1方向に駆動するための第1駆動手段(14)、並びに上記ビームを上記平衡質量(2)に関して上記第2方向(Y)に駆動するために上記ビームのそれぞれの端に結合された第2および第3駆動手段(12a、12b)を含む装置。

【請求項12】 請求項10による装置に於いて、上記粗位置決め手段(10)が、上記平衡質量(2)の更なる案内面に取付けたステータおよび上記物体テーブルに取付けた並進器を有する平面電気モータを含む装置。

【請求項13】 請求項1による装置に於いて、上記平衡質量が第1および第2平衡質量部(506、507)を含み、上記第1平衡質量部(506)が上記第1ないし第3自由度(X、Y、Rz)で動き得て、および上記第2平衡質量部(507)が上記第4自由度(Z)で動き得る装置。

【請求項14】 請求項13による装置に於いて：上記装置がベース(BP)を含み；上記第1平衡質量部(506)が上記物体テーブル(WT)を囲む全体として矩形のフレームを含み、上記第1平衡質量部が上記ベースから実質的に無摩擦の軸受(505)によって支持されおよび上記粗位置決め手段が上記第1平衡質量部と上記物体テーブルの間に作用し；並びに上記第2平衡質量部(507)が上記第1および第2方向(X、Y)に実質的に平行に拡がる案内面(508)を有し且つ上記第3方向(Z)に低剛性を有する支持体(503)によって上記ベースから支持され、上記物体テーブルが実質的に無摩擦の軸受によって上記案内面上に支持されている装置。

【請求項15】 リソグラフィ投影装置であって：放射線の投影ビーム(PB)を供給するための照明システム(IL)；所望のパターンに従ってこの投影ビームをパターンニングすることが出来るパターンニング手段(MA)

を保持するための第1物体テーブル(MT) ; 基板(W)を保持するための第2物体テーブル(WT) ; このパターン化したビームをこの基板の目標部分(C)上に結像するための投影システム(PL) ; および上記物体テーブルの少なくとも一つを少なくとも3自由度(X、Y、Rz)で位置決めできる平衡位置決めシステム(10) ; を含み、この位置決めシステムが : 少なくとも一つの平衡質量(2) ; 上記平衡質量を上記3自由度で実質的に自由に動けるように支持するための軸受手段(3) ; および上記物体テーブルを上記3自由度で配置するために上記物体テーブルと上記平衡質量の間に直接作用するための駆動手段を含む装置において、上記平衡質量が、上記第1および第2方向(X、Y)とほぼ平行な側辺(2a、2b、2c、2d)、および中に上記物体テーブルが少なくとも部分的に配置してある中央開口を有する、全体として矩形のフレーム(2)を含むことを特徴とする投影装置。

【請求項16】 リソグラフィ投影装置であって : 放射線の投影ビーム(PB)を供給するための照明システム(IL) ; 所望のパターンに従ってこの投影ビームをパターンニングすることが出来るパターンニング手段(MA)を保持するための第1物体テーブル(MT) ; 基板(W)を保持するための第2物体テーブル(WT) ; このパターン化したビームをこの基板の目標部分(C)上に結像するための投影システム(PL) ; および上記物体テーブルの少なくとも一つを少なくとも2自由度(X、Y)で位置決めできる平衡位置決めシステム(10) ; を含み、この位置決めシステムが : 少なくとも一つの平衡質量(2) ; 上記平衡質量を可動に支持するための軸受手段(3) ; 並びに上記物体テーブルを少なくとも第1および第2自由度で位置決めするための位置決め手段で、上記第1および第2自由度が実質的に直交する第1および第2方向(X、Y)の並進であり、上記位置決め手段が粗および微細位置決め手段を含み、および上記位置決め手段からの反力を上記平衡質量へ伝えるように配置してある手段を含む装置において : 上記粗位置決め手段が、上記物体テーブルに取付けた並進器および上記第1および第2方向に平行に伸び且つ上記平衡質量に取付けたステータを有する平面電気モータを含むことを特徴とする投影装置。

【請求項17】 二つ以上の第1物体テーブル(MT)および/または二つ以上の第2物体テーブル(WT)を有する、請求項1ないし請求項16の何れか一つによる装置に於いて、複数の物体テーブルを位置決めするための駆動力への反力を共通の平衡質量(2)へ向ける装置。

【請求項18】 放射線の投影ビーム(PB)を供給するための照明システム(IL) ; 所望のパターンに従ってこの投影ビームをパターンニングすることが出来るパターンニング手段(MA)を保持するための第1物体テーブ

ル(MT) ; 基板(W)を保持するための第2物体テーブル(WT) ; およびこのパターン化したビームをこの基板の目標部分(C)上に結像するための投影システム(PL) ; を含むリソグラフィ投影装置を使うデバイスの製造方法であって : 放射線感応層を備える基板(W)を上記第2物体テーブルに設ける工程 ; 照明システムを使って放射線の投影ビームを用意する工程 ; この投影ビームにその断面にパターンを与えるためにこのパターンニング手段を使う工程 ; 放射線のこのパターン化したビームを上記基板の目標部分上に投影する工程を含む方法にして : 上記投影工程中またはその前に、上記物体テーブルの少なくとも一つを粗位置決め手段によって第1ないし第3自由度(X、Y、Rz)で、および微細位置決め手段によって少なくとも第4自由度(Z)で動かし、そのような運動中、上記第1ないし第3自由度での反力を平衡質量(2)に加える方法において ; 上記第4自由度での反力を上記平衡質量へ伝える、更なる工程を有することを特徴とする方法。

【請求項19】 請求項18の方法によって製造したデバイス。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、少なくとも3自由度で可動物体を位置決めするために使えるような、平衡位置決めシステムに関する。更に詳しくは、この発明は、リソグラフィ投影装置であって : 放射線の投影ビームを供給するための照明システム ; 所望のパターンに従ってこの投影ビームをパターンニングすることが出来るパターンニング手段を保持するための第1物体テーブル ; 基板を保持するための第2物体テーブル ; 第2パターンニング手段または第2基板を保持するための第3可動物体テーブル ; およびこのパターン化したビームをこの基板の目標部分上に結像するための投影システム ; を含む投影装置でそのような平衡位置決めシステムを使用することに関する。

##### 【0002】

【従来の技術】 “パターンニング” という用語は、入射放射線ビームに、この基板の目標部分に創成すべきパターンに対応する、パターン化した断面を与えるために使うことができる手段を指すと広く解釈すべきであり ; “光バルブ” という用語もこの様な関係に使ってある。一般的に、上記パターンは、集積回路またはその他のデバイス(以下参照)のような、この目標部分に作るデバイスの特別な機能層に対応するだろう。そのようなパターンニング手段の例には次のようなものがある ;

— 上記第1物体テーブルが保持するマスク。マスクの概念は、リソグラフィでよく知られ、二値、交互位相シフト、および減衰位相シフトのようなマスク型、並びに種々のハイブリッドマスク型を含む。そのようなマスクを放射線ビーム中に置くと、このマスク上のパターン

に従って、このマスクに入射する放射線の選択透過（透過性マスクの場合）または選択反射（反射性マスクの場合）を生ずる。この第1物体テーブルは、このマスクを入射放射線ビームの中の所望の位置に保持できること、およびもし望むなら、それをこのビームに対して動かせることを保証する。

一 第1物体テーブルと呼ぶ構造体が保持するプログラム可能ミラーアレイ。そのような装置の例は、粘弾性制御層および反射面を有するマトリックスアドレス可能面である。そのような装置の背後の基本原理は、（例えば）この反射面のアドレス指定された領域が入射光を回折光として反射し、一方アドレス指定されない領域が入射光を未回折光として反射するということである。適当なフィルタを使って、上記未回折光を反射ビームから濾過して取除き、回折光だけを後に残すことができ；この様にして、このビームがマトリックスアドレス可能面のアドレス指定パターンに従ってパターン化されるようになる。必要なアドレス指定は、適当な電子手段を使って行える。そのようなミラーアレイについての更なる情報は、例えば、米国特許US5,296,891およびUS5,523,193から収集することができ、これら特許も本発明を説明するうえで参考とする。

一 第1物体テーブルと呼ぶ構造体が保持するプログラム可能LCDアレイ。そのような構成の例は、米国特許US5,229,872で与えられ、この特許も説明のうえで参考とする。

簡単のために、この明細書の以下の説明で、それ自体をマスクを伴う例に具体的に向けるかも知れないが；しかし、そのような場合に議論する一般原理は、上に示すようなパターンニング手段の広い定義で解釈すべきである。

【0003】簡単のために、この投影システムを、以後“レンズ”と呼ぶかも知れないが；この用語は、例えば、屈折性光学素子、反射性光学素子、および反射屈折性光学素子を含む、種々の型式の投影システムを包含するように広く解釈すべきである。この照明システムも放射線のこの投影ビームを指向し、成形しまたは制御するためにこれらの設計形式の何れかに従って作用する部品を含んでもよく、そのような部品も以下で集成的または単独に“レンズ”と呼ぶかも知れない。その上、この第1および第2物体テーブルを、それぞれ、“マスクテーブル”および“基板テーブル”と呼ぶかも知れない。

【0004】リソグラフィ投影装置は、例えば、集積回路（IC）の製造に使うことができる。そのような場合、パターンニング手段がこのICの個々の層に対応する回路パターンを創成してもよく、このパターンを、エネルギー感応性材料（レジスト）の層で塗被した基板（シリコンウエハ）の目標部分（一つ以上のダイを含む）上に結像することができる。一般的に、単一ウエハが隣接するダイの全ネットワークを含み、それらをこの投影システムを介して、一度に一つずつ、順次照射する。マス

クテーブル上のマスクによるパターンニングを使う、現在の装置では、二つの異なる型式の機械を区別することができる。一つの型式のリソグラフィ投影装置では、全マスクパターンをこの目標部分上に一度に露出することによって各目標部分を照射し；そのような装置を普通ウエハステッパと呼ぶ。代替装置 — 普通ステップ・アンド・スキャン装置と呼ぶ — では、このマスクパターンを投影ビームの下で与えられた基準方向（“走査”方向）に順次走査し、一方、一般的に、この投影システムが倍率M（一般的に $<1$ ）であり、この基板テーブルを走査する速度Vが、倍率M掛けるマスクテーブルを走査する速度であるので、この基板テーブルをこの方向に平行または逆平行に同期して走査することによって各目標部分を照射する。ここに説明したようなリソグラフィ装置に関する更なる情報は、例えば、US6,046,792から収集することができ、この特許を本発明を説明するうえで参考にする。

【0005】一般的に、この種の装置は、単一第1物体（マスク）テーブルおよび単一第2物体（基板）テーブルを含んだ。しかし、少なくとも二つの独立に可動の基板テーブルがある機械が利用可能になった；例えば、US5,969,441および1998年2月27日提出の米国特許出願09/180,001（WO98/40791）に多段装置が記載されている。これらも本発明を説明するうえで参考にする。そのような多段装置の背景たる基本動作原理は、第1基板テーブルがその上にある第1基板を露出するために投影システムの下にある間に、第2基板テーブルが載荷位置へ移動でき、すでに露出した基板を排出し、新しい基板を取上げ、この新しい基板に幾つかの初期測定を行い、および次に第1基板の露出が完了するとすぐ、この新しい基板を投影システムの下に露出位置へ移送するために待機し；そこでこのサイクルを繰返すことであり；この様にして、機械のスループットをかなり向上することが可能であり、それが次にこの機械の所有コストを改善する。

【0006】既知のリソグラフィ装置で、基板テーブル用位置決め装置の駆動ユニットは、二つのリニアYモータを含み、その各々が、Y方向に平行に伸び且つこの位置決め装置のベースに固着したステータ、およびこのステータに沿って動き得る並進器（Yスライダ）を含む。このベースは、このリソグラフィ装置のフレームに固着してある。この駆動ユニットは、更に、X方向に平行に伸びるステータ、およびこのステータに沿って動き得る並進器（Xスライダ）を含むリニアXモータを含む。このXモータのステータは、その両端附近でリニアYモータの並進器（Yスライダ）に固着したXビームに取付けである。従って、この装置はH形で、二つのYモータが縦材を、Xモータが横材を構成し、それでこの装置を屢々H駆動装置と称する。

【0007】被駆動物体、この場合基板テーブルは、所

謂空気足を備えることができる。この空気足は、ガス軸受を含み、それによって基板テーブルを、Z方向に直角に伸びるベースの案内面上を動けるように案内する。

【0008】リソグラフィ装置では、マスク（レチクル）および基板（ウエハ）をナノメータ精度に位置決めするために使う加速力に対する機械フレーム上の反力が、この装置の精度を損う振動の主な原因である。振動の影響を最小にするために、絶縁した測定フレームを設けて、その上に全ての位置検知装置を取付け、全ての反力を、この装置の残りから隔離した、所謂力または反力フレームへ伝えることが可能である。

【0009】代替装置では、この駆動力に対する反力を平衡質量に伝え、それは通常被駆動質量より重く、この装置の残りに対して自由に動く。この反力を平衡質量の加速に使い、この装置の残りにそれ程影響しない。平面内で3自由度で動き得る平衡質量は、US5,815,346は勿論、WO98/40791およびWO98/28665（上記）に記載してある。

【0010】EP-A-0,557,100は、反力が等しく且つ反対であり、それで相殺するように、二つの質量を反対方向に能動的に駆動することに頼るシステムを記述する。記載してあるこのシステムは、2次元で動作するが、この平衡質量の能動的な位置決めが主物体を駆動するものと同じ品質および性能の第2の位置決めシステムを必要とする。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、容易に多自由度へ拡張でき、種々の異なる駆動機構に使える平衡システムを提供することである。

【0012】

【課題を解決するための手段】本発明の一つの態様によれば、リソグラフィ投影装置であって：放射線の投影ビームを供給するための照明システム；所望のパターンに従ってこの投影ビームをパターンニングすることが出来るパターンニング手段を保持するための第1物体テーブル；基板を保持するための第2物体テーブル；このパターン化したビームをこの基板の目標部分上に結像するための投影システム；および上記物体テーブルの少なくとも一つを3を超える自由度で位置決めできる平衡位置決めシステム；を含み、この位置決めシステムが：少なくとも一つの平衡質量；上記平衡質量を可動に支持するための軸受手段；上記物体テーブルを第1ないし第3自由度で位置決めするための粗位置決め手段で、上記3自由度が第1および第2方向の並進並びに第3方向周りの回転であり、上記第1、第2および第3方向が実質的に相互に直交する手段；および上記物体テーブルを上記第1、第2および第3と実質的に直交する少なくとも第4自由度で位置決めするための微細位置決め手段と、を含み上記粗および微細位置決め手段は、上記粗および微細位置決め手段からの反力を上記平衡質量へ伝えるように配置し

てあり：上記平衡質量を上記軸受手段によって少なくとも上記第4自由度で実質的に自由に動けるように支持することを特徴とする投影装置が提供される。

【0013】リソグラフィ装置の長ストローク（粗）位置決めシステムは、通常、この装置をX、YおよびRz自由度に位置決めするために配置し、一方短ストローク（微細）位置決めシステムは、6自由度全て（即ち、X、Y、Z、Rz、Ry、およびRx）に亘る高精度位置決めをもたらす。この短ストローク位置決めシステムの位置決め運動がこの装置で望ましくない振動の原因であることがある。これらの運動は、屢々長ストローク位置決めシステムの運動より遙かに高振動数であり、高加速度を伴うことがあり、それで、移動する質量が小さくても、反力が大きい。この微細位置決め手段の反力を、少なくとも一つの追加の自由度で自由に動ける、平衡質量へ、直接またはこの粗位置決め手段を介して、伝えるように手配することによって、本発明は、全ての反力を平衡位置決めシステムに閉込めて、この装置の残りの振動を最小にすることを保証する。

【0014】この平衡質量は、少なくとも4自由度で動き得る単一物体でもよく、または一つ以上の自由度で別々に動き得る幾つかの部品で作ってもよい。例えば、この発明の実施例では、この平衡質量の第1部分が第1ないし第3自由度（例えばX、YおよびRz、）で動き得るこの物体テーブルを囲むフレームであり、一方この平衡質量の第2部分が物体テーブルの下に配置してあり、少なくとも第4自由度（例えば、Z）で動き得る。

【0015】本発明の更なる態様によれば、リソグラフィ投影装置であって：放射線の投影ビームを供給するための照明システム；所望のパターンに従ってこの投影ビームをパターンニングすることが出来るパターンニング手段を保持するための第1物体テーブル；基板を保持するための第2物体テーブル；このパターン化したビームをこの基板の目標部分上に結像するための投影システム；および上記物体テーブルの少なくとも一つを少なくとも3自由度で位置決めできる平衡位置決めシステム；を含み、この位置決めシステムが：少なくとも一つの平衡質量；上記平衡質量を上記3自由度で実質的に自由に動けるように支持するための軸受手段；および上記物体テーブルを上記3自由度で配置するために上記物体テーブルと上記平衡質量の間に直接作用するための駆動手段を含み：上記平衡質量が、上記第1および第2方向と一般的に平行な側面、および中に上記物体テーブルが少なくとも部分的に配置してある中央開口を有する、全体として矩形のフレームを含むことを特徴とする投影装置が提供される。

【0016】矩形フレームの形の平衡質量で、所謂H駆動装置の縦材を形成する駆動装置をこのフレームの側部に容易に組込むことができ、反力が全て平衡質量と被駆動物体テーブルの間に直接作用することを保証する。ま



た、この被駆動物体テーブルが平衡フレームの中央開口内に位置するので、この平衡フレームと被駆動質量の質量中心間のZ方向の距離が縮まる。

【0017】この平衡質量の往復運動行程、従ってこの装置の全体の設置面積を減らすために、この平衡質量が、位置決めした物体よりかなり大きく、好ましくは少なくとも5倍であるのが好ましい。これに関して、この平衡質量と共に動く質量は全てその一部と考え、位置決めした物体と共に動く質量は全てその一部と考える。

【0018】上記の何れかの態様によるこの発明の実施例では、複数の物体（マスクまたは基板）テーブルを設けてもよく、二つ以上のテーブルの駆動力に対する反力を共通の平衡質量に向けてもよいことに気付くべきである。

【0019】本発明のその上更なる態様によれば、リソグラフィ投影装置であって：放射線の投影ビームを供給するための照明システム；所望のパターンに従ってこの投影ビームをパターンニングすることが出来るパターンニング手段を保持するための第1物体テーブル；基板を保持するための第2物体テーブル；このパターン化したビームをこの基板の目標部分上に結像するための投影システム；および上記物体テーブルの少なくとも一つを少なくとも2自由度で位置決めできる平衡位置決めシステム；を含み、この位置決めシステムが：少なくとも一つの平衡質量；上記平衡質量を可動に支持するための軸受手段；並びに上記物体テーブルを少なくとも第1および第2自由度で位置決めするための位置決め手段で、上記第1および第2自由度が実質的に直交する第1および第2方向の並進であり、上記位置決め手段が粗および微細位置決め手段を含み、および上記位置決め手段からの反力を上記平衡質量へ伝えるように配置してある手段を含み：上記粗位置決め手段が、上記物体テーブルに取付けた並進器および上記第1および第2方向に平行に伸び且つ上記平衡質量に取付けたステータを有する平面電気モータを含むことを特徴とする投影装置が提供される。

【0020】平面モータが働かせる力は、H駆動装置と違って、第1および第2方向に平衡質量へ直接伝える。H駆動装置では、物体テーブルをXスライダによってXビーム上をX方向に駆動し、このXビームと物体テーブルをY方向に、Xビームの両端に取付けた対応するスライダを備えるY方向リニアモータによって駆動するので、力を間接的に平衡質量へ伝える。Yリニアモータのビームだけを平衡質量に取付ける。XモータがX方向に加える力は、XビームおよびY方向リニアモータを介して平衡質量へ伝える。平面モータを使うとき、X方向およびY方向両方の反力を平衡質量に直設伝える。更に、ステータ（例えば、磁石アレイ）を平衡質量に取付けて、この平衡質量の質量を望ましく増し、その運動範囲を減らす。

【0021】真空環境では、物体テーブルを真空環境で

空中に浮揚させるためにガス軸受を使うことは困難であるので、物体テーブルを空中に浮揚させるためにも平面モータを使うことが有利かも知れない。この平面モータは、物体テーブルを上記第1および第2方向と相互に直交する第3方向周りに回転するためにも使ってよい。

【0022】平面モータの磁気浮上は、無摩擦軸受を提供し、平衡質量に自由に第1および第2方向に動かし、および第3方向周りに回転させる。この平衡質量は、第3方向にも動けおよび／または第1および第2方向の一つまたは両方の周りに回転できて、それが3以上の自由度で平衡をとってもよい。このために、この平衡質量を第3方向に低剛性の支持体によって支持してもよい。この平衡質量は、その質量中心を第3方向に物体テーブルの質量中心と同じレベルまで上げるために直立壁を備えてもよい。

【0023】この発明の更なる態様によれば、：放射線の投影ビームを供給するための照明システム；所望のパターンに従ってこの投影ビームをパターンニングすることが出来るパターンニング手段を保持するための第1物体テーブル；基板を保持するための第2物体テーブル；およびこのパターン化したビームをこの基板の目標部分上に結像するための投影システム；を含むリソグラフィ投影装置を使うデバイスの製造方法であって：放射線感応層を備える基板を上記第2物体テーブルに設ける工程；照明システムを使って放射線の投影ビームを用意する工程；この投影ビームにその断面にパターンを与えるためにこのパターンニング手段を使う工程；放射線のこのパターン化したビームを上記基板の目標部分上に投影する工程を含む方法に於いて：上記投影工程中またはその前に、上記物体テーブルの少なくとも一つを粗位置決め手段によって第1ないし第3自由度で、および微細位置決め手段によって少なくとも第4自由度で動かし、そのような運動中、上記第1ないし第3自由度での反力を平衡質量に加える方法において、上記第4自由度での反力を上記平衡質量へ伝える、更なる工程を有することを特徴とする方法が提供される。

【0024】この発明によるリソグラフィ投影装置を使う製造プロセスでは、パターン（例えば、マスクの中の）を、少なくとも部分的に放射線感応材料（レジスト）の層で覆われた基板上に結像する。この結像工程の前に、この基板は、例えば、下塗り、レジスト塗布およびソフトベークのような、種々の処理を受けるかも知れない。露出後、基板は、例えば、露出後ベーク（PEB）、現像、ハードベークおよび結像形態の測定／検査のような、他の処理を受けるかも知れない。この一連の処理は、デバイス、例えばICの個々の層をパターン化するための基礎として使用する。そのようにパターン化した層は、次に、エッチング、イオン注入（ドーピング）、金属化処理、酸化処理、化学・機械的研磨等のような、全て個々の層の仕上げを意図した種々の処理を受

けるかも知れない。もし、幾つかの層が必要ならば、全処理またはその変形を各新しい層に反復しなければならないだろう。結局、デバイスのアレイが基板(ウエハ)上にできる。次に、これらのデバイスをダイシングまたは鋸引のような手法によって互いから分離し、そこから個々のデバイスをキャリアに取付け、ピンに接続すること等ができる。そのようなプロセスに関する更なる情報は、例えば、ピータ・バン・ザントの“マイクロチップの製作：半導体加工の実用ガイド”、第3版、マグロウヒル出版社、1997年、ISBN0-07-067250-4という本から得ることができる。

【0025】この明細書でICの製造に於けるこの発明による装置の使用を具体的に参照してもよいが、そのような装置は、他の多くの可能な用途があることを明確に理解すべきである。例えば、それを集積光学システム、磁区メモリ用誘導検出パターン、液晶ディスプレイパネル、薄膜磁気ヘッド等の製造に使ってもよい。当業者は、そのような代替用途の関係では、この明細書で使う“レチクル”、“ウエハ”または“ダイ”という用語のどれも、それぞれ、より一般的な用語“マスク”、“基板”および“目標領域”で置換えられると考えるべきである。

【0026】本文書では、照明放射線および照明ビームという用語を紫外放射線(例えば、365nm、248nm、193nm、157nmまたは126nmの波長の)、EUV、X線、電子およびイオンを含むあらゆる種類の電磁放射線または粒子フラックスを包含するために使用しているが、それらに限定されるものでない。

【0027】この発明を以下にX、YおよびZ軸に基づく直交基準方式を参照して説明する。このZ方向は、垂直と呼んでもよいが、文脈が要求するものでなければ、この装置の必要な方位を意味すると取るべきでない。本発明を以下に実施例および添付の概略図を参照して説明する。これらの図面で、類似の参照文字は、類似の部品を指す。

【0028】

【実施例1】図1は、この発明によるリソグラフィ投影装置を概略的に示す。この装置は：

- 放射線(例えば、UV若しくはEUV線、x線、電子またはイオン)の投影ビームPBを供給するための放射線システムLA、IL；
- マスクMA(例えば、レチクル)を保持するためのマスクホルダを備え、このマスクを部材PLに関して正確に位置決めするための第1位置決め手段に結合された第1物体テーブル(マスクテーブル)MT；
- 基板W(例えば、レジストを塗被したシリコンウエハ)を保持するための基板ホルダを備え、この基板を部材PLに関して正確に位置決めするための第2位置決め手段に結合された第2物体テーブル(基板テーブル)WT；

— このマスクMAの被照射部分を基板Wの目標部分C上に結像するための投影システム(“レンズ”)PL(例えば、屈折若しくは反射屈折性のシステム、ミラーループまたは視界偏向器アレイ)；を含む。

ここでの説明では、この装置は、透過型である(即ち、透過性のマスクを有する)。しかし、一般的に、それは、例えば、反射型でもよい。

【0029】この放射線システムは、放射線のビームを作る放射源LA(例えば、Hgランプ、エキシマレーザ、放電プラズマ源、レーザ励起プラズマ源、貯蔵リング若しくはシンクロトロン)の電子ビームの経路の周りに設けたアンジュレータ、または電子若しくはイオンビーム源を含む。このビームをこの照明システムILに含まれる種々の光学部品、—例えば、ビーム成形光学系Ex、積分器INおよびコンデンサCO—に通して、出来たビームが所望の形状および強度分布を有するようにする。

【0030】ビームPBは、次に、マスクテーブルMT上にマスクホルダで保持されたマスクMAを横切る。マスクMAを通過してから、ビームPBは、レンズPLを通過し、それがこのビームを基板Wの目標部分C上に集束する。干渉計変位測定手段IFおよびこの第2位置決め手段の助けをかりて、基板テーブルWTは、例えば、異なる目標部分CをビームPBの経路に配置するように、正確に動くことができる。同様に、例えば、マスクMAをマスクライブラリから機械的に検索してから、この第1位置決め手段を使ってマスクMAをビームPBの経路に関して正確に配置することができる。一般的に、物体テーブルMT、WTの運動は、図1に明示しないが、長ストロークモジュール(粗位置決め)および短ストロークモジュール(微細位置決め)の助けをかりて実現する。

【0031】図示する装置は、二つの異なるモードで使うことができる：

1. ステップモードでは、マスクテーブルMTを本質的に固定して保持し、全マスク像を目標部分C上に一度に(即ち、単一“フラッシュ”で)投影する。次に基板テーブルWTをXおよび/またはY方向に移動して異なる目標部分CをビームPBで照射できるようにする；
2. 走査モードでは、与えられた目標部分Cを単一“フラッシュ”では露出しないことを除いて、本質的に同じシナリオを適用する。その代りに、マスクテーブルMTが与えられた方向(所謂“走査方向”、例えば、Y方向)に速度vで動き得て、それで投影ビームPBがマスク像の上を走査させられ；同時に、基板テーブルWTがそれと共に同じまたは反対方向に速度 $V = Mv$ で動かされ、このMはレンズPLの倍率(典型的には、 $M = 1/4$ または $1/5$ )である。この様にして、比較的大きい目標部分Cを、解像度について妥協する必要なく、露出できる。



【0032】この装置は、この装置の部品を支持するためのベースフレームBP（ベースプレートまたは機械フレームとも呼ぶ）、および投影システムPLおよび干渉計式変位測定手段IFのような位置センサを支持するためこのベースフレームBPから機械的に絶縁した基準フレームRFも含む。

【0033】図2は、3自由度での平衡をもたらすためにこのリソグラフィ装置の、基板テーブルを含む、ウエハステージで使う、この発明の第1実施例による平衡システムを示す。以下に説明するこの構成は、適当に修正して、リソグラフィ装置の、マスクテーブルを含む、レチクルステージで使ってもよい。

【0034】この第1実施例の平衡システムは、この機械のベースフレーム上に設けた案内面4上を動けるように実質的に無摩擦の軸受3によって支持した平衡フレーム2（平衡質量）を含む。これらの無摩擦軸受3は、例えば、空気静圧軸受または液静圧軸受または磁気軸受でもよい。その代りに、もし、必要な移動範囲が比較的小さければ、屈曲部材または平行板ばねのような弾性案内システムを使うことが出来る。この構成は、反対に構成しても良く、即ち、機械フレームに設けた軸受が平衡フレームの下側の案内面に作用するようにしてもよい。案内面4は、この装置のために形成するXY平面に平行であり、平衡フレーム2は、XおよびY方向に自由に並進し、並びにZ方向に平行な軸周り（Rz）に自由に回転する。

【0035】図3に示す位置決めシステム10は、平衡フレーム2内またはその上に置き、XおよびY方向の運動範囲が比較的大きい。位置決めシステム10の質量中心がZ方向で平衡フレームの質量中心と出来るだけ近いことが重要である。特に、二つの質量中心の垂直離隔距離が実質的に100mm未満で、理想的にはゼロであるのが好ましい。弾性支柱または緩衝器5が平衡フレーム2の移動を制限し、それが案内面4を離れるのを防ぐ。

【0036】この位置決めシステムは、被駆動物体に加える駆動力に抗して作用する反力が機械的または電磁的連結部を介して平衡フレームへ伝えられるように構成する。これらの連結部は、平衡フレーム2と位置決めシステム10の組合わせたシステムの質量中心を含むXY平面内またはそれに近く配置する。これらの連結部は、例えば、軸受面がXY平面に垂直な空気静圧軸受または、例えば、平衡フレーム2に取付けた磁石と位置決めシステムに取付けたコイルまたはアーマチュアを備え、これらの電磁力の作用線がこの組合わせた質量中心と同じXY平面にあるような電磁式リニアアクチュエータでもよい。

【0037】図3は、位置決めシステム10が所謂H形駆動装置であるそのような構成を示す。このH形駆動装置10は、その端またはその近くをそれぞれのスライダ12a、12bに取付けたXビーム11を含む。スライ

ダ12a、12bは、矩形平衡フレーム2の長辺2a、2bに取付けた、細長い磁石軌道13a、13bと協同して作用するリニアモータのアーマチュアを担持し、Xビーム11をY方向に並進させる。位置決めすべき物体、この場合ウエハテーブルWTを、Xビーム11に取付けた更なるスライダ14によってXY平面で駆動する。スライダ14は、スライダ12a、12b同様、Xビーム11に取付けた磁石軌道15に作用するためのリニアモータのアーマチュアを担持し、スライダ14をこのXビームに沿って並進させ、従ってウエハテーブルWTをX方向に位置決めする。スライダ12a、12bの位置の独立制御がXビーム11とこの平衡フレームの間の角度を変えられるようにし、従って、この平行フレームの偏揺れ運動を補償するためにウエハテーブルWTのRz（Z軸周りの回転）位置をある範囲で制御できるようにする。このためおよびこの平衡フレームに働く合力の剪断成分によって生ずる平衡フレームの歪みのために、これらの駆動装置が力を加えるXおよびY方向が必ずしも正確に直交でない。この構成によって、YおよびRz方向の反力が直接平衡フレーム2に伝えられる。スライダ12a、12bは、X方向の反力を平衡フレーム2へ伝えるために、平衡フレーム2に設けた直立壁21a、21bに対して作用する空気軸受16a、16bも担持する。X方向の力を伝達するための1対のスラスト軸受16a、16bの代りに、例えば、単一の予荷重を掛けた軸受または対向するパッド軸受を二つのスライダの一つに使ってもよく、それは、Xビームが平衡フレーム2と垂直でないとき、コサイン短縮による障害を避けるので屢々好まれる。

【0038】図示するように、この位置決めシステムを平衡フレームによってZ方向におよびRx、Ry回転に抗して支持する。この機能は、この位置決めシステム（例えば、ウエハテーブルWT）の全部または一部に対する案内面4により、別の面またはベースフレームに対して固定した面により、または上記の組合せによっても実行できる。もし、所謂平面モータを使うなら、XおよびY方向の反力は、XY平面で磁石（またはコイル）板を介して平衡フレームに伝えられる。この磁石（またはコイル）板は、XY平面でこの平衡フレームの一部を形成してもよく、そうすればその質量が望ましく増加して、その運動範囲が減る。再び、この磁石（またはコイル）板を第2平衡質量によってまたは無摩擦軸受のような別の手段によってこの機械ベース上でZ、RxおよびRy方向に支持してもよい。

【0039】被駆動物体、この場合ウエハテーブルWTに加えられる駆動力は、同等で反対の反力を生じ、それが、この発明によれば、この平衡フレーム（平衡質量）に加わる。ニュートンの法則から、この被駆動物体と平衡質量の変位の比は、それらの質量に逆比例する。即ち：

【0040】

$$\frac{x_1(t)}{x_2(t)} = -\frac{m_2}{m_1}$$

[1]

【0041】但し、 $x_i$ は、共通の質量中心に対する質点 $i$ の変位であり、 $m_i$ は、質点 $i$ の質量である。この関係で、この平衡質量比は、変位が起る方向に従って変わるかも知れないことに気付くべきである。本実施例では、Xビーム11とYスライダ12a、12bがY方向に変位するためにウエハテーブルWTと共に動き、一方このウエハテーブルは、X方向に変位するためにXビーム11に対して動く。それで、Y方向の変位の被駆動質量は、ウエハテーブルWT、Xスライダ14、Xビーム11およびYスライダ12a、12bの質量の組合せである。他方、X方向の変位に関しては、被駆動質量がウエハテーブルWTとXスライダ14の質量だけであり、XビームとYスライダがその代りに平衡質量の一部を形成する。XビームおよびYスライダがウエハテーブルWTおよびXスライダ14と類似の質量を有するので、これはこの平衡質量比とかなりの差を生ずることがある。

【0042】この平衡フレームを位置決めシステムの組合わせた移動質量より5ないし20倍重くすることによって、平衡フレームの運動範囲を抑制し、この平衡システムの全体の設置面積を望む通りに制限することができる。

【0043】もし、位置決め中、この平衡フレームの質量中心がXまたはY方向でこの位置決め装置の一つの質量中心と一致しなければ、その方向の反力がこの平衡フレームの偏揺れ運動を生ずるかも知れない。ある場合、例えば、被駆動物体の平衡フレームの質量中心からずれた点周りの円運動の場合、偏揺れ運動が相殺するのではなく時の経つにつれ積重なるようになることがある。過度の偏揺れ運動を防ぐため、負帰還サーボシステムを設

$$m_1 \cdot \vec{u}_1(t) + m_2 \cdot \vec{u}_2(t) = m_1 \cdot \vec{u}_1(0) + m_2 \cdot \vec{u}_2(0) \quad [2]$$

【0047】但し、

$$\vec{u}_i(t)$$

は、固定基準点に対する時間 $t$ でのXY平面に於ける質点 $i$ のベクトル変位である。計算した(式[2]を使って)位置と測定した位置の間の誤差信号を作動システム33に与え、それが平衡フレーム2への適当な補正力を加える。この平衡フレームおよび/または機械ベースの最低共振モードは、このドリフト制御システムのサーボ帯域幅より少なくとも5倍高い。

【0048】この平衡フレームの累積偏揺れ運動を最小にするために、この制御モードを、サーボ帯域幅は低いが固定設定点(例えば、偏揺れゼロ)に構成する。受動的(例えば、ばね)ドリフト制御と同様に、この偏揺れ用サーボ帯域幅がこの偏揺れ軸周りのこの機械ベース

【数1】

ける。この制御システムも、位置決め装置へのケーブル配線、位置決め駆動装置の整列不良、軸受3の微小摩擦等のような要因から発生することがある、平衡フレームの長期累積並進(ドリフト)を補正するようにされている。以下に説明する能動的ドリフト制御システムの代替案として、例えば、低剛性ばねに基づく、受動的システムを使ってもよい。

【0044】図4は、上で言及したサーボシステム30の制御ループを示す。この機械フレームに関する平衡質量のX、YおよびRz設定点を減算器31の正入力に供給し、その出力をサーボ制御器32へ送る。このサーボ制御器は、3自由度アクチュエータシステム33を制御し、それが平衡フレーム2への必要な補正を加える。減算器31の負入力への帰還は、平衡フレームおよび被駆動質量の位置を測定する、多自由度測定システム34によって与える。平衡フレームと被駆動質量の両方の位置を固定基準フレームに対して測定してもよい。その代りに、一つ、例えば、平衡質量の位置をこの基準フレームに対して測定し、被駆動質量の位置をこの平衡質量に対して測定してもよい。後者の場合、この相対位置データをソフトウェアかハードウェアによって絶対位置データに変換することができる。

【0045】サーボシステム30の設定点は、位置決め装置と平衡フレーム2の組合せ質量中心がXY平面で変わらないままであることを保証するように決める。これは、次の条件を定める：

【0046】

【数2】

上の過渡モーメントを最小にするために低域通過フィルタの役をする。換言すれば、長期(低振動数)運動を補正するための反力だけがベースフレームへ伝えられる。

【0049】図5は、この第1実施例の第1変形によるドリフト制御作動システム33aを示す。このシステムは、三つのローレンツ(力)型リニアモータ(例えば、ボイスコイルモータ、鉄なし多相リニアモータ等)331、332、333を含む。三つのモータの二つ331、332は、一方向、例えば、X方向に作用し、他の方向、例えば、Y方向に広く離間している。第3のモータ333は、他の、例えばY方向に、この平衡フレームの組合せ質量中心またはその近くを通して作用する。これらの駆動装置は、それらが作用する方向と垂直方向に細長い磁石板またはコイルを有するローレンツ力モータで、それらが平衡フレーム2のこの垂直方向の位置に関

係なく与えられた方向に力を加えられるのが好ましい。

【0050】三つの駆動装置を使う上記構成は、可能な最も簡単な構成であるが、もし、平衡フレーム2が剪断に対する抵抗が限られた開いた矩形でも、各々このフレームの一つの側部材の中立軸に沿ってまたはそれに近く作用する、四つのモータを使うことができ、それによってこのフレーム部材の曲げを最小にするので有利である。そのような構成を図6に示す。ここでは、四つの駆動装置334a、334b、334c、334dを使い、各角の一つずつ配置して、四つのビーム2a、2b、2c、2dのそれぞれの一つに平行且つ一致する力を働かせる。四つの駆動装置の各々は、前のように、ローレンツ型リニアモータでもよい。更なる代替案は、各々XおよびY方向に力を働かせる二つの平面モータを使い、X、YおよびRzに組合せ制御をもたらすことである。

【0051】駆動装置334の代替形を、側面図である図7、および図7の線I-Iによる断面図である図8に示す。駆動装置334は、ベースまたは機械フレームBPに取付けおよび回転-直線運動変換器336によって平衡フレーム2に結合した回転ローレンツモータ335（鉄なし可動コイルモータ、直流または交流ブラシレスモータ等のような）から成る。この回転-直線運動変換器336は、モータ335の駆動軸335aにしっかりと取付け且つ偏心して取付けたピン336bを有する円板336aを含む。ピン336bは、平衡フレーム2に取付けた連結フレーム336eと係合する二つの車輪336c、336dの車軸を成す。連結フレーム336eは、細長く、この平衡フレームに加えるべき力の作用方向に垂直で、一般的に断面がC形である。それは、車輪336c、336dを囲み、各々対向する軸受面336g、336fのそれぞれの一つと係合する。軸受面336fは、平衡フレーム2の方を向き、軸受面336gは、外を向く。それによって、もし、モータ335が作動して円板336aを図8で時計方向に回転すると、車輪336cは、面336gを圧迫させられ、平衡フレーム2に左方押圧力を加える。同様に、円板336aの反時計方向回転は、平衡フレーム2に引張り力を右方に加える。

【0052】回転-直線運動変換器336は、実質的に無摩擦で且つ遊びなしに逆転可能であるように構成され、それでドリフト作動制御を位置モードではなく力モードで実行できる。平衡フレーム2の位置は、円板336aに設けた回転エンコーダ（図示せず）を介して付加的に測定できる。

【0053】更なる代替ドリフト制御システムを、平衡フレーム2の平面図である図9、およびこの代替案で使う駆動機構337の一つの拡大図である図10に示す。駆動機構337は、共通のピボットピンに結合した二つのクランク-コンロッド機構から成る、所謂“二重Scara機構”である。各クランク-コンロッド機構は、ロー

レンツ型トルクモータ337bによってによって駆動されるクランク337aおよびこのクランク337aの端を共通のピボットピン337bに結合するコンロッド337cから成る。トルクモータ337bは、ベースフレームBPに取付け、且つその駆動軸を並進に抗して固定して反力がベースフレームBPに伝えられるようにする。

【0054】図9および図10のドリフト作動システムは、3自由度の平衡フレームを制御するためには三つの駆動装置だけで十分であるが、追加のモータにより図6の構成と同じ利益をもたらすので、限定的なものである。

【0055】平衡フレーム2の位置および方向は、モータ337bの駆動軸に設けた回転エンコーダによって測定してもよい、クランク角から決めることができる。このサーボ制御システムでは、二つの座標変換：一つは、クランク337aの角度位置の情報を平衡質量2の位置のX、Y、Rz座標に変換するため；およびもう一つは制御装置32によって決めた力を駆動モータ337b用のトルクに変換するために設ける。

【0056】上記のように、上に説明したドリフト制御装置は、直線または回転駆動機構に組込んだ直線または回転位置センサを含んでもよい。その代りに、独立の位置測定システム、例えば、グリッドエンコーダまたは2次元位置感知検出器を使ってもよい。そのようなシステムは、X、Y、Rz座標に変換できる多重出力を有するかも知れず、または平衡フレーム上の2点、好ましくは対角線的に対向する角のXY位置の独立の測定値を提供するかも知れない。そのような位置決め機構は、ベースフレームに対する、または超精密機械で、振動絶縁測定フレームに対する平衡フレーム2の位置を測定するかも知れない。

【0057】例えば、エラー状態の場合に、平衡フレーム2が範囲外へドリフトするのを防ぐために、ストローク制限装置をこの平衡フレームとベースフレームの間に設けてもよい。そのような装置の例を、平衡フレーム2の下部を通る断面を示す図である図11に示す。この装置では、3本のピン40がベースフレームBPの軸受面4から上方に突出し、この平衡フレーム2の開端スロット41と係合する。これらのスロット41およびピン40は、平衡フレーム2の運動をX、YおよびRzで予め定めた包絡面に制限するような大きさおよび配置とする。これらのピン40は、衝突の場合に、この平衡フレーム2への衝撃を緩和するために弾性的またはばねが掛けてあってもよい。このストローク制限装置は、平衡フレーム2から突出するピンがベースフレームBPのスロットと係合するような、運動学的に逆の構成としてもよい。

【0058】もし、種々のアクチュエータの駆動力は勿論、この位置決め装置および平衡フレーム2の質量中心

が同じXY平面内にあるように配置することが可能でなければ、このオフセットで作用する駆動力は、傾動モーメント $T_x$ 、 $T_y$ 、即ち、この平衡フレーム2および位置決め装置をXおよびY軸の周りに回転させるモーメントを生ずるだろう。もし、平衡フレーム2を比較的高剛性でZ、RxおよびRy方向に支持するならば、傾動モーメント $T_x$ 、 $T_y$ は、ベースフレームBPに伝えられ、そこに振動を生ずるだろう。また、粗位置決めは、通常X、YおよびRz方向に行うだけであるが、可動物体用基板テーブルWTに含まれる微細位置決めアクチュエータは、普通6自由度全てに位置決めすることができる。他の自由度は勿論、この微細位置決めシステムの運動からの反力も、もしベースフレームBPに伝えられると、振動を起すことがある。

【0059】従って、平衡フレーム2を軸受3に含まれる低剛性支持体でZ、RxおよびRy方向に支持する。そのような支持体は、低剛性無摩擦軸受または無摩擦軸受と組合わせた弾性若しくはガスばねでもよい。大間隙空気軸受も使うことができる。X、YおよびRz方向のドリフトを制御するために受動的部品を使うとき同様、これらのばね定数は、この平衡フレーム質量一ばねシステムの固有振動数がこの位置決め装置の運動の最低基本振動数より実質的に、例えば、5ないし10倍、低いように選択する。もし、ウエハテーブルWTを平衡フレーム上ではなくベースフレーム上に案内面4によってZ、Rx、Ryに支持するならば、案内面4を提供するベースフレーム部材をZ、RxおよびRy用の第2平衡フレームとして扱い、説明したように受動的に支持することができる。

【0060】

【実施例2】以下に説明することを除いて、第1実施例と同じでもよい、この発明の第2実施例の、基板テーブルWTを含む、基板ステージを図12に示す。この第2実施例では、平衡質量406が開放箱の形を採り、平坦な内部ベース407がウエハテーブルWT用案内面を形成し、直立側壁408が平衡質量406の質量中心を上げる役に立つ。この基板テーブルWTは、この基板W用に6自由度で動作する微細位置決め機構417を含み、実質的に無摩擦軸受を形成する所謂空気足がこの基板テーブルWTを案内面407上を動けるようにする。

【0061】この基板テーブルWTの運動は、粗位置決め機構によって行われる。これは、Xビーム415を含み、それに対して基板テーブルWTが、このXビーム、従って基板テーブルWTをY方向に駆動するためのY方向リニアモータの並進器を含むスライダ411を両端に有するX駆動装置（図示せず）によって、およびこのXビームの対向する端にRzで異なる力を加えることによって駆動される。これらのY方向リニアモータのステータ409が平衡質量406の肩に設けてある。この基板テーブルの運動からのY方向およびR反力は、この様に

して直接平衡質量406に加えられる。X方向反力は、スライダ411と平衡質量406の側壁408の間の軸受を介して平衡質量406へ伝えられる。

【0062】基板テーブルWTが平衡質量406のベース407上を案内されるので、微細位置決め機構417による基板WTの対応する運動からのZ、Ry、Rx反力も直接平衡質量406へ伝えられる。XおよびY駆動装置によって加えられる力線は勿論、基板テーブルWTおよび平衡質量406の質量中心の不完全な調整から生ずる傾斜運動 $T_x$ 、 $T_y$ も空気ポット419およびYリニアモータの剛性を介して平衡質量406へ伝えられる。

【0063】平衡質量406が6自由度全てでこれらの反力を吸収できるようにするためには、それが6自由度全てに自由に動けねばならない。これは、それをベースフレームBPから、Z方向に低剛性を有する複数の支持体403、および平衡質量406の下面で受けられる実質的に無摩擦の軸受405によって支持することによって達成する。この平衡質量406の下面は、平坦であるか、または平衡質量406の運動の最大期待若しくは許容範囲に対応するに十分な大きさの平坦領域を有する。平衡質量406は、基板テーブルWTより遙かに、例えば、5ないし10倍、重いので、平衡質量406の運動範囲は、基板テーブルWTの運動範囲より遙かに小さいだろう。

【0064】

【実施例3】図13は、上に説明した第1または第2実施例と同じでもよい、この発明の第3実施例の、基板テーブルWTを含む、基板ステージを描く。

【0065】この第3実施例では、平衡質量を二つの部分506、507に分割する。この第1平衡質量部506は、基板テーブルWTを囲む矩形フレームを含む。この第1平衡質量部506の対向する側面は、その上にY方向リニアモータのステータ、例えば、磁石軌道が取付けてある。このY方向リニアモータの並進器、例えば、コイルがXビーム515の両端でスライダ511に取付けてある。このXビームは、Xリニアモータのステータを含み、この並進器が基板テーブルWTに取付けてある。このXリニアモータと共に粗位置決め機構を形成する、YリニアモータからのYおよびRz反力は、直接第1平衡質量部506へ伝えられ、X反力は、スラスト軸受（図示せず）を介して伝えられる。このXおよびY反力を吸収するために、第1平衡質量部506を実質的に無摩擦の軸受505、例えば、空気軸受によって支持し、それがX、YおよびRzに動くようにする。

【0066】第2平衡質量部507は、板の形を採り、基板テーブルWTの下に配置してある。その上面508は、平坦で案内面を形成し、その上を基板テーブルWTが空気足で受けられる。この様にして、微細位置決め機構517によるウエハWの運動からのZ、RxおよびR

Yの反力は、この第2平衡質量部507へ伝えられ、この第2平衡質量部507は、Z方向に低剛性を有する複数の支持体503によってベースフレームBPから支持してある。これらの支持体は、例えば、機械的またはガスのばねでもよい。

#### 【0067】

【実施例4】この発明の第4実施例は、真空中で使うための、第2実施例の修正形である。基板テーブルWTを含む、この基板ステージを図14に示す。第2実施例同様、平衡質量606が開放箱の形を採る。この実施例では、この箱のベースが平面モータのステータ627、例えば、磁石アレイを含み、その並進器635は、ウエハテーブルWTに取付けてある。平面モータについての更なる情報は、米国特許第5,886,432号で収集でき、この特許を本発明を説明するうえで参考とする。前と同様、直立壁625が平衡質量606の質量中心を基板テーブルWTのそれと同じ水平面まで高くするのに役に立つ。この平面モータ627、635は、この基板テーブルを並進は勿論、空中に浮揚させるように構成してもよく、または付加的軸受を設けることもできる。この平面モータのX、Yおよび事によるとRz並進からの反力をこの平衡質量606に伝える。

#### 【0068】

【実施例5】この発明の第5実施例は、図15に示すように第4実施例の修正形である。第4実施例同様、基板テーブルWTは、平面モータのステータ627の平面（即ち、XおよびY方向）で動き得る。この粗位置決め機構（平面モータ）のX、YおよびRz運動からの反力を直接平衡質量606に伝える。微細位置決め機構617のための全ての自由度の反力をこの平面モータの剛性またはこの基板テーブル用に設けた追加の軸受を介して平衡質量606に伝える。この平衡質量は、第2実施例と同じ方法で軸受605および低剛性支持体603の上に取付けてある。

【0069】上にこの発明の特定の実施例を説明したが、この発明を説明したのと別の方法で実施してもよいことが判るだろう。この説明は、この発明を制限することを意図しない。特に、この発明をリソグラフィ装置のレチクルまたはマスクステージに、および平面での物体の迅速且つ正確な位置決めが望ましい、あらゆる他の型式の装置に使ってもよいことが判るだろう。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の第1実施例によるリソグラフィ投影装置を描く。

【図2】図1の装置の基板ステージにある、本発明の平衡質量の平面図である。

【図3】図2に類似する図であるが、基板テーブル用駆動装置を付加的に示す。

【図4】図2の平衡システムのサーボシステムの線図である。

【図5】この第1実施例の平衡システムの第1変形によるドリフト制御装置の平面図である。

【図6】この第1実施例の平衡システムの第2変形によるドリフト制御装置の平面図である。

【図7】図6のドリフト制御装置の駆動装置の拡大側面図である。

【図8】図7の線I-Iによるこの駆動装置の断面図である。

【図9】この第1実施例の平衡システムの第3変形によるドリフト制御装置の平面図である。

【図10】図9のドリフト制御装置の駆動装置の拡大平面図である。

【図11】この第1実施例の第4変形の平面図で、ストローク制限装置を示す。

【図12】この発明の第2実施例の基板ステージの断面図である。

【図13】この発明の第3実施例の基板ステージの断面図である。

【図14】この発明の第4実施例の基板ステージの断面図である。

【図15】この発明の第5実施例の基板ステージの断面図である。

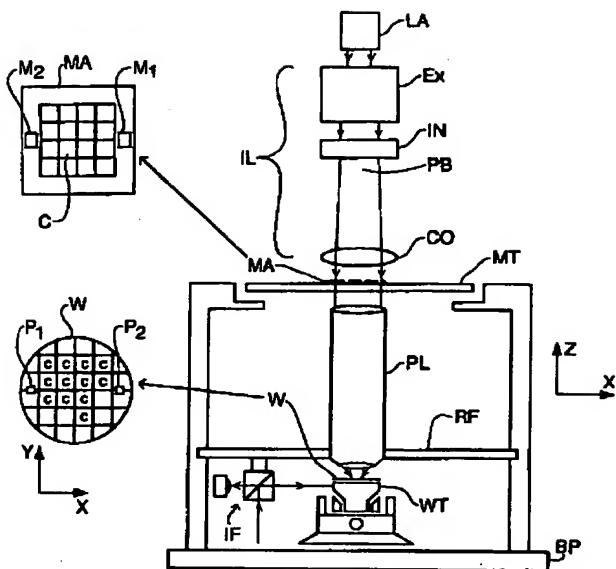
#### 【符号の説明】

- 2 平衡質量、フレーム
- 2a フレーム側辺
- 2b フレーム側辺
- 2c フレーム側辺
- 2d フレーム側辺
- 3 軸受手段
- 4 案内面
- 10 平衡位置決めシステム
- 11 ビーム
- 12a 第2駆動手段
- 12b 第3駆動手段
- 14 第1駆動手段
- 503 支持体
- 506 第1平衡質量部
- 507 第2平衡質量部
- 508 案内面
- BP ベース板
- C 基板の目標部分
- IL 照明システム
- MA パターニング手段
- MT 第1物体テーブル
- PB 投影ビーム
- PL 投影システム
- Rz 第3方向周りの回転
- W 基板
- WT 第2物体テーブル
- X 第1方向

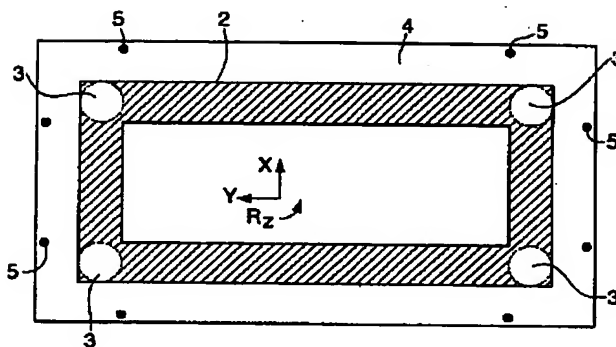
Y 第2方向

Z 第3方向

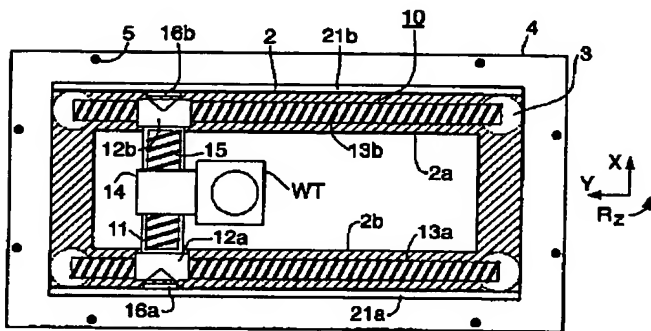
【図1】



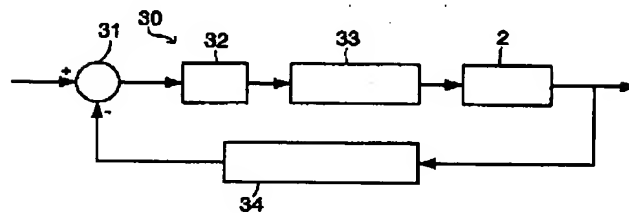
【図2】



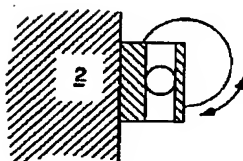
【図3】



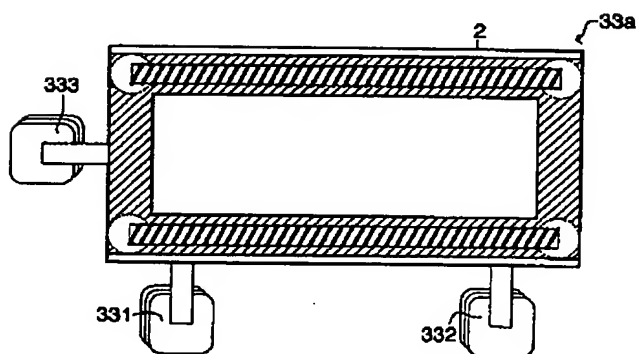
【図4】



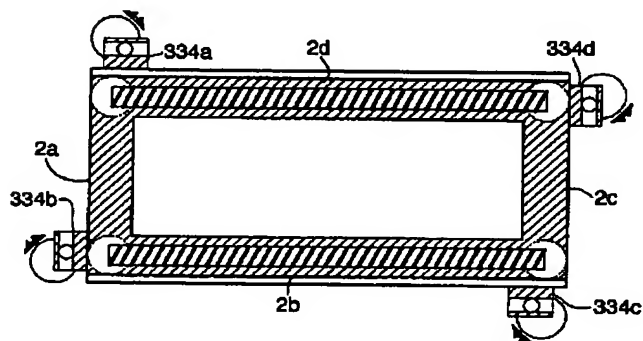
【図8】



【図5】

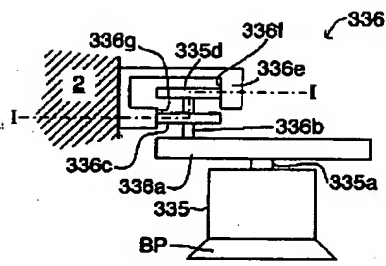


【図6】

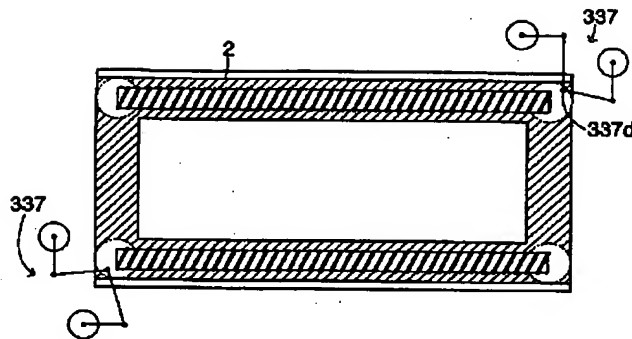




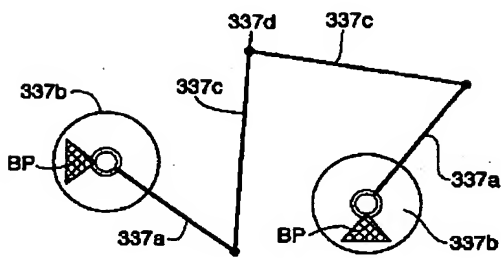
【図7】



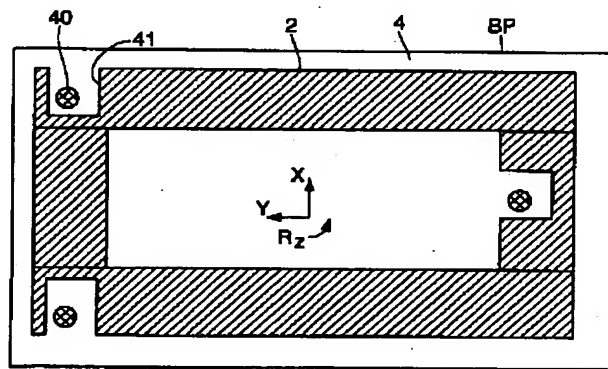
【図9】



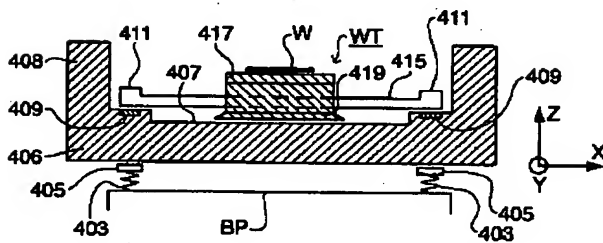
【図10】



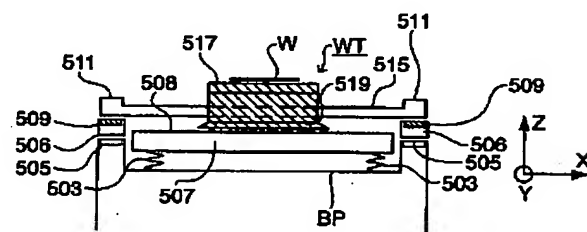
【図11】



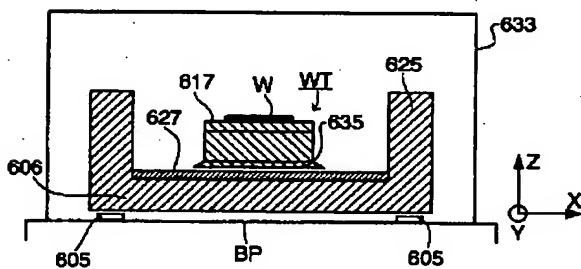
【図12】



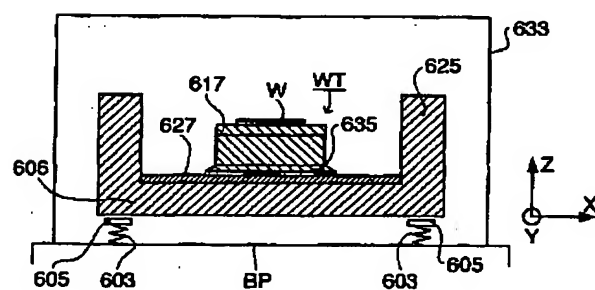
【図13】



【図14】



【図15】



フロントページの続き

(72)発明者 ヴィルヘルムス ヤコブス テオドルス  
ペトルス、ファン デ ヴィエル  
オランダ国 エイントホーフェン、 ペリ  
ゴルトラーン 51

Fターム(参考) 2F078 CA01 CA08 CB02 CB05 CB09  
CB12 CC07  
5F046 AA23 BA04 BA05 CC01 CC02  
CC19

【外国語明細書】

1 Title Of Invention

Balanced Positioning System for Use in Lithographic Apparatus

2 Claims

1. A lithographic projection apparatus comprising:
  - a illumination system for supplying a projection beam of radiation;
  - a first object table for holding patterning means capable of patterning the projection beam according to a desired pattern;
  - a second object table for holding a substrate; and
  - a projection system for imaging the patterned beam onto a target portion of the substrate; and
  - a balanced positioning system capable of positioning at least one of said object tables in more than three degrees of freedom, the positioning system comprising:
    - at least one balance mass;
    - bearing means for movably supporting said balance mass;
    - coarse positioning means for positioning said object table in first to third degrees of freedom, said three degrees of freedom being translation in first and second directions and rotation about a third direction, said first, second and third directions being substantially mutually orthogonal; and
    - fine positioning means for positioning said object table in at least a fourth degree of freedom substantially orthogonal to said first, second and third degrees of freedom, said coarse and fine positioning means being arranged so that reaction forces from said coarse and fine positioning means are channeled to said balance mass;
- characterized in that:
  - said balance mass is supported by said bearing means so as to be substantially free to move in at least said fourth degree of freedom.
2. Apparatus according to claim 1 further comprising a base plate having a guide surface extending parallel to said first and second directions and wherein said bearing means comprises a plurality of substantially frictionless bearings bearing on said guide surface and connected to said balance mass by supports having a low stiffness in said third direction.
3. Apparatus according to claim 2 wherein said bearings are selected from the group comprising aerostatic bearings, hydrostatic bearings and magnetic bearings.

4. Apparatus according to claim 2 or 3 wherein said supports are selected from the group comprising elastic springs and gas springs.
5. Apparatus according to claim 1 further comprising a base plate having a guide surface extending parallel to said first and second directions and wherein said bearing means comprises a plurality of low-stiffness substantially frictionless bearings on said guide surface.
6. Apparatus according to any one of claims 2 to 5 wherein said balance mass comprises a generally rectangular frame having its sides generally parallel to said first and second direction.
7. Apparatus according to claim 6 wherein said generally rectangular frame has a central opening and wherein said object table is at least partly disposed in said central opening.
8. Apparatus according to claim 7 wherein said object table has a low stiffness bearing for supporting said object table over said guide surface.
9. Apparatus according to claim 1 wherein said balance mass has a guide surface extending parallel to said first and second directions and said apparatus further comprises a base having substantially frictionless bearings bearing against said guide surface and supported from said base by supports having a low stiffness in said third direction.
10. Apparatus according to claim 9 wherein said balance mass has a further guide surface substantially parallel to said guide surface and said object table is provided with a substantially frictionless bearing bearing on said further guide surface.
11. Apparatus according to claim 10 wherein said coarse positioning means comprises a beam extending generally parallel to said first direction and a first drive means for driving said object table relative to said beam in said first direction and second and third drive means connected to respective ends of said beam for driving said beam relative to said balance mass in said second direction.
12. Apparatus according to claim 10 wherein said coarse positioning means comprises a planar electric motor having a stator mounted to said further guide surface of said balance mass and a translator mounted to said object table.

13. Apparatus according to claim 1 wherein said balance mass comprises first and second balance mass parts, said first balance mass part being moveable in said first to third degrees of freedom and said second balance mass part being moveable in said fourth degree of freedom.

14. Apparatus according to claim 13 wherein:

said apparatus comprises a base;

said first balance mass part comprises a generally rectangular frame surrounding said object table, said first balance mass part being supported from said base by substantially frictionless bearings and said coarse positioning means acting between said first balance mass part and said object table; and

said second balance mass part has a guide surface extending substantially parallel to said first and second directions and is supported from said base by supports having a low stiffness in said third direction, said object table being supported over said guide surface by a substantially frictionless bearing.

15. A lithographic projection apparatus comprising:

an illumination system for supplying a projection beam of radiation;

a first object table for holding patterning means capable of patterning the projection beam according to a desired pattern;

a second object table for holding a substrate; and

a projection system for imaging the patterned beam onto a target portion of the substrate; and

a balanced positioning system capable of positioning at least one of said object tables in at least three degrees of freedom, the positioning system comprising:

at least one balance mass;

bearing means for supporting said balance mass so as to be substantially free to move in said three degrees of freedom; and

driving means for acting directly between said object table and said balance mass to position said object table in said three degrees of freedom; characterized in that:

said balance mass comprises a generally rectangular frame having its sides generally parallel to said first and second directions, and a central opening in which said object table is at least partly disposed.

16. A lithographic projection apparatus comprising:
- an illumination system for supplying a projection beam of radiation;
  - a first object table for holding patterning means capable of patterning the projection beam according to a desired pattern;
  - a second object table for holding a substrate; and
  - a projection system for imaging the patterned beam onto a target portion of the substrate; and
  - a balanced positioning system capable of positioning at least one of said object tables in at least two degrees of freedom, the positioning system comprising:
    - at least one balance mass;
    - bearing means for movably supporting said balance mass;
    - positioning means for positioning said object table in at least first and second degrees of freedom, said first to second degrees of freedom being translations in first and second directions that are substantially orthogonal, said positioning means comprising coarse and fine positioning means and being arranged so that reaction forces from said positioning means are channeled to said balance mass; characterized in that:
      - said coarse positioning means comprises a planar electric motor having a translator mounted to said object table and a stator extending parallel to said first and second directions and mounted to said balance mass.
17. Apparatus according to any one of the preceding claims having more than one first object table and/or more than one second object table wherein reaction forces to drive forces for positioning a plurality of object tables are directed to a common balance mass or masses.
18. A method of manufacturing a device using a lithographic projection apparatus comprising:
- an illumination system for supplying a projection beam of radiation;
  - a first object table for holding patterning means capable of patterning the projection beam according to a desired pattern;
  - a second object table for holding a substrate; and
  - a projection system for imaging the patterned beam onto a target portion of the substrate; the method comprising the steps of:
    - providing a substrate provided with a radiation-sensitive layer to said second object table;



providing a projection beam of radiation using an illumination system;  
using patterning means to endow the projection beam with a pattern in its cross-section;  
projecting the patterned beam of radiation onto target portions of said substrate;  
wherein during or prior to said projecting step at least one of said object tables is moved in first to third degrees of freedom by coarse positioning means and in at least a fourth degree of freedom by fine positioning means and, during such movement, reaction forces in said first to third degrees of freedom are exerted on a balance mass;  
characterized by the further step of:  
channeling reaction forces in said fourth degree of freedom to said balance mass.

19. A device manufactured according to the method of claim 18

### 3 Detailed Description Of Invention

The present invention relates to balanced positioning systems, such as may be used to position a moveable object in at least three degrees of freedom. More particularly, the invention relates to the use of such a balanced positioning system in lithographic projection apparatus comprising:

- an illumination system for supplying a projection beam of radiation;
- a first object table for holding patterning means capable of patterning the projection beam according to a desired pattern;
- a second object table for holding a substrate; and
- a projection system for imaging the patterned beam onto a target portion of the substrate.

The term "patterning means" should be broadly interpreted as referring to means that can be used to endow an incoming radiation beam with a patterned cross-section, corresponding to a pattern that is to be created in a target portion of the substrate; the term "light valve" has also been used in this context. Generally, the said pattern will correspond to a particular functional layer in a device being created in the target portion, such as an integrated circuit or other device (see below). Examples of such patterning means include:

A mask held by said first object table. The concept of a mask is well known in lithography, and it includes mask types such as binary, alternating phase-shift, and attenuated phase-shift, as well as various hybrid mask types. Placement of such a mask in the projection beam causes selective transmission (in the case of a transmissive mask) or reflection (in the case of a reflective mask) of the radiation impinging on the mask, according to the pattern on the mask. The first object table ensures that the mask can be held at a desired position in the incoming projection beam, and that it can be moved relative to the beam if so desired.

A programmable mirror array held by a structure, which is referred to as first object table. An example of such a device is a matrix-addressable surface having a viscoelastic control layer and a reflective surface. The basic principle behind such an apparatus is that (for example) addressed areas of the reflective surface reflect incident light as diffracted light, whereas unaddressed areas reflect incident light as undiffracted light.

Using an appropriate filter, the said undiffracted light can be filtered out of the reflected beam, leaving only the diffracted light behind; in this manner, the beam becomes patterned according to the addressing pattern of the matrix-addressable surface. The required matrix addressing can be performed using suitable electronic means. More information on such mirror arrays can be gleaned, for example, from United States Patents US 5,296,891 and US 5,523,193, which are incorporated herein by reference.

A programmable LCD array, held by a structure which is referred to as first object table. An example of such a construction is given in United States Patent US 5,229,872, which is incorporated herein by reference.

For purposes of simplicity, the rest of this text may, at certain locations, specifically direct itself to examples involving a mask; however, the general principles discussed in such instances should be seen in the broader context of the patterning means as hereabove set forth.

For the sake of simplicity, the projection system may hereinafter be referred to as the "lens"; however, this term should be broadly interpreted as encompassing various types of projection system, including refractive optics, reflective optics, and catadioptric systems, for example. The illumination system may also include components operating according to any of these design types for directing, shaping or controlling the projection beam of radiation, and such components may also be referred to below, collectively or singularly, as a "lens". In addition, the first and second object table may be referred to as the "mask table" and the "substrate table", respectively.

Lithographic projection apparatus can be used, for example, in the manufacture of integrated circuits (ICs). In such a case, the patterning means may generate a circuit pattern corresponding to an individual layer of the IC, and this pattern can be imaged onto a target portion (comprising one or more dies) on a substrate (silicon wafer) that has been coated with a layer of radiation-sensitive material (resist). In general, a single wafer will contain a whole network of adjacent target portions that are successively irradiated via the projection system, one at a time. In current apparatus, employing patterning by a mask on a mask table, a distinction can be made between two different types of machine. In one type of lithographic projection apparatus, each target portion is irradiated by exposing the entire mask pattern onto the target portion in one go; such an apparatus is commonly referred to as a wafer stepper. In an alternative apparatus — commonly referred to as a step-and-scan apparatus — each target portion is irradiated by progressively scanning the mask pattern under the projection beam in a given reference direction (the "scanning" direction) while

synchronously scanning the substrate table parallel or anti-parallel to this direction; since, in general, the projection system will have a magnification factor  $M$  (generally  $< 1$ ), the speed  $V$  at which the substrate table is scanned will be a factor  $M$  times that at which the mask table is scanned. More information with regard to lithographic devices as here described can be gleaned, for example, from US 6,046,792, incorporated herein by reference.

In general, apparatus of this type contained a single first object (mask) table and a single second object (substrate) table. However, machines are becoming available in which there are at least two independently movable substrate tables; see, for example, the multi-stage apparatus described in US 5,969,441 and US Serial No. 09/180,011, filed 27 February, 1998 (WO 98/40791), incorporated herein by reference. The basic operating principle behind such a multi-stage apparatus is that, while a first substrate table is underneath the projection system so as to allow exposure of a first substrate located on that table, a second substrate table can run to a loading position, discharge an exposed substrate, pick up a new substrate, perform some initial metrology steps on the new substrate, and then stand by to transfer this new substrate to the exposure position underneath the projection system as soon as exposure of the first substrate is completed, whence the cycle repeats itself; in this manner, it is possible to achieve a substantially increased machine throughput, which in turn improves the cost of ownership of the machine.

In a known lithographic apparatus, the drive unit of the positioning device for the substrate table comprises two linear Y-motors each of which comprises a stator extending parallel to the Y-direction and secured to a base of the positioning device, and a translator (Y-slider) movable along the stator. The base is secured to the frame of the lithographic device. The drive unit further comprises a linear X-motor that comprises a stator extending parallel to the X-direction and a translator (X-slider) which can be moved along the stator. The stator of the X-motor is mounted on an X-beam that is secured, near its respective ends, to the translators (Y-sliders) of the linear Y-motors. The arrangement is therefore H-shaped, with the two Y-motors forming the uprights and the X-motor forming the cross-piece, and this arrangement is often referred to as an H-drive.

The driven object, in this case the substrate table, can be provided with a so-called air foot. The air foot comprises a gas bearing by means of which the substrate table is guided so as to be movable over a guide surface of the base extending at right angles to the Z-direction.

In a lithographic apparatus, reactions on the machine frame to acceleration forces used to position the mask (reticle) and substrate (wafer) to nanometer accuracies are a major cause of vibration, impairing the accuracy of the apparatus. To minimize the effects of vibrations it is possible to provide an isolated metrology frame, on which all position sensing devices are

mounted, and to channel all reaction forces to a so-called force or reaction frame that is separated from the remainder of the apparatus.

In an alternative arrangement, the reaction to the driving force is channeled to a balance mass, which is normally heavier than the driven mass which is free to move relative to the remainder of the apparatus. The reaction force is spent in accelerating the balance mass and does not significantly affect the remainder of the apparatus. Balance masses moveable in three degrees of freedom in a plane are described in WO 98/40791 and WO 98/28665 (mentioned above), as well as US 5,815,246.

EP-A-0,557,100 describes a system which relies on actively driving two masses in opposite directions so that the reaction forces are equal and opposite and so cancel out. The system described operates in two dimensions but the active positioning of the balance mass necessitates a second positioning system of equal quality and capability to that driving the primary object.

An object of the present invention is to provide a balancing system that is readily extendable to multiple degrees of freedom and is usable with various different drive mechanisms.

According to the present invention there is provided a lithographic projection apparatus comprising:

- an illumination system for supplying a projection beam of radiation;
- a first object table for holding patterning means capable of patterning the projection beam according to a desired pattern;
- a second object table for holding a substrate; and
- a projection system for imaging the patterned beam onto a target portion of the substrate; and
- a balanced positioning system capable of positioning at least one of said object tables in more than three degrees of freedom, the positioning system comprising:
  - at least one balance mass;
  - bearing means for movably supporting said balance mass;
  - coarse positioning means for positioning said object table in first to third degrees of freedom, said three degrees of freedom being translation in first and second directions and rotation about a third direction, said first, second and third directions being substantially mutually orthogonal; and

fine positioning means for positioning said object table in at least a fourth degree of freedom substantially orthogonal to said first, second and third degrees of freedom, said coarse and fine positioning means being arranged so that reaction forces from said coarse and fine positioning means are channeled to said balance mass; characterized in that

said balance mass is supported by said bearing means so as to be substantially free to move in at least said fourth degree of freedom.

The long stroke (coarse) positioning system of a lithography apparatus is normally arranged to position the apparatus in X, Y and Rz degrees of freedom whilst a short stroke (fine) positioning system provides higher-precision positioning over all 6 degrees of freedom (i.e. X, Y, Z, Rz, Ry, and Rx). The positioning movements of the short stroke positioning system can be a source of undesirable vibrations in the apparatus. These movements are often of much higher frequency than movements of the long stroke positioning system and can involve high accelerations so that the reaction forces are large, even though the moving mass is smaller. By arranging for the reaction forces of the fine positioning means to be channeled to the balance mass, which is free to move in at least one additional degree of freedom, directly or via the coarse positioning means, the present invention ensures that all reaction forces are confined to the balanced positioning system and vibrations in the remainder of the apparatus are minimized.

The balance mass may be a single body moveable in at least four degrees of freedom or may be made up of several parts separately moveable in one or more degrees of freedom. For example, in an embodiment of the invention a first part of the balance mass is a frame moveable in the first to third degrees of freedom (e.g. X, Y and Rz) and surrounding the object table whilst a second part of the balance mass is disposed underneath the object table and is moveable in at least the fourth degree of freedom (e.g. Z).

According to a further aspect of the present invention there is provided a lithographic projection apparatus comprising:

- an illumination system for supplying a projection beam of radiation;
- a first object table for holding patterning means capable of patterning the projection beam according to a desired pattern;
- a second object table for holding a substrate; and
- a projection system for imaging the patterned beam onto a target portion of the substrate; and

a balanced positioning system capable of positioning at least one of said object tables in at least three degrees of freedom, the positioning system comprising:



at least one balance mass;

bearing means for supporting said balance mass so as to be substantially free to move in said three degrees of freedom; and

driving means for acting directly between said object table and said balance mass to position said object table in said three degrees of freedom; characterized in that:

said balance mass comprises a generally rectangular frame having its sides generally parallel to said first and second directions, and a central opening in which said object table is at least partly disposed.

With the balance mass in the form of a rectangular frame, the drives forming the uprights of a so-called H-drive arrangement can easily be integrated into the sides of the frame ensuring that the reaction forces all act directly between balance mass and driven object table. Also, because the driven object table sits within the central opening of the balance frame the distance in the Z-direction between the centers of gravity of the balance frame and the driven mass is reduced.

To reduce the excursions of the balance mass, and hence the overall footprint of the apparatus, it is preferred that the balance mass is considerably more massive, preferably at least five times, than the positioned object. In this regard, all masses that move with the balance mass are considered part of it and all masses that move with the positioned object are considered part of that.

It should be noted that in embodiments of the invention according to either of the aspects described above, multiple object (mask or substrate) tables may be provided and the reaction forces to the drive forces of two or more tables may be directed to a common balance mass or masses.

According to yet a further aspect of the present invention there is provided a lithographic projection apparatus comprising:

an illumination system for supplying a projection beam of radiation;

a first object table for holding patterning means capable of patterning the projection beam according to a desired pattern;

a second object table for holding a substrate; and

a projection system for imaging the patterned beam onto a target portion of the substrate; and

a balanced positioning system capable of positioning at least one of said object tables in at least two degrees of freedom, the positioning system comprising:

at least one balance mass;

bearing means for movably supporting said balance mass;

positioning means for positioning said object table in at least first and second degrees of freedom, said first to second degrees of freedom being translations in first and second directions that are substantially orthogonal, said positioning means comprising coarse and fine positioning means and being arranged so that reaction forces from said positioning means are channeled to said balance mass; characterized in that:

said coarse positioning means comprises a planar electric motor having a translator mounted to said object table and a stator extending parallel to said first and second directions and mounted to said balance mass.

The forces exerted by the planar motor will be channeled directly to the balance mass in the first and the second direction as opposed to an H-drive arrangement. In an H-drive arrangement forces may be channeled indirectly to the balance mass, since the object table is driven by an X-slider over an X-beam in the X-direction and the X-beam and object table are driven in the Y-direction by two Y-direction linear motors with corresponding sliders mounted to both ends of the X-beam. Only the beams of the Y-linear motors are mounted to the balance mass. Forces exerted in the X-direction by the X-motor will be channeled indirectly via the X-beam and the Y-direction linear motors to the balance mass. When a planar motor is used reaction forces in both the X-direction and the Y-direction are directly channeled to the balance mass. Further, with the stator (e.g. a magnet array) mounted to the balance mass, the mass of the balance mass is desirably increased to reduce its movement range.

In a vacuum environment it may be advantageous to use the planar motor also to levitate the object table because it will be difficult to use a gas bearing to levitate the object table in a vacuum environment. The planar motor may also be used to rotate the object table around a third direction being mutually orthogonal to said first and second direction.

The magnetic levitation of the planar motor provides for a frictionless bearing allowing the balance mass to, freely move in first and second directions and rotate around the third direction. The balance mass may also be movable in the third direction and/or rotatable around one or both of the first and second directions such that it provides balancing in more than three degrees of freedom. For this purpose the balance mass may be supported by supports having a low stiffness in the third direction. The balance mass may be provided with upstanding walls to raise the center of gravity of the balance mass to the same level in the third direction as the center of gravity of the object table.

According to a further aspect of the invention there is provided a method of manufacturing a device using a lithographic projection apparatus comprising:

- an illumination system for supplying a projection beam of radiation;
- a first object table for holding patterning means capable of patterning the projection beam according to a desired pattern;
- a second object table for holding a substrate; and
- a projection system for imaging the patterned beam onto a target portion of the substrate; the method comprising the steps of:

- providing a substrate provided with a radiation-sensitive layer to said second object table;
- providing a projection beam of radiation using an illumination system;
- using patterning means to endow the projection beam with a pattern in its cross-section;
- projecting the patterned beam of radiation onto target portions of said substrate;
- wherein during or prior to said projecting step at least one of said object tables is moved in first to third degrees of freedom by coarse positioning means and in at least a fourth degree of freedom by fine positioning means and, during such movement, reaction forces in said first to third degrees of freedom are exerted on a balance mass;
- characterized by the further step of:
- channeling reaction forces in said fourth degree of freedom to said balance mass.

In a manufacturing process using a lithographic projection apparatus according to the invention a pattern (e.g. in a mask) is imaged onto a substrate which is at least partially covered by a layer of radiation-sensitive material (resist). Prior to this imaging step, the substrate may undergo various procedures, such as priming, resist coating and a soft bake. After exposure, the substrate may be subjected to other procedures, such as a post-exposure bake (PEB), development, a hard bake and measurement/inspection of the imaged features. This array of procedures is used as a basis to pattern an individual layer of a device, e.g. an IC. Such a patterned layer may then undergo various processes such as etching, ion-implantation (doping), metallization, oxidation, chemo-mechanical polishing, etc., all intended to finish off an individual layer. If several layers are required, then the whole procedure or a variant thereof, will have to be repeated for each new layer. Eventually, an array of devices will be present on the substrate (wafer). These devices are then separated from one another by a technique such as dicing or sawing, whence the individual devices can be mounted on a carrier, connected to pins, etc. Further information regarding such processes can be obtained, for example, from the book "Microchip Fabrication: A Practical Guide to Semiconductor

"Processing", Third Edition, by Peter van Zant, McGraw Hill Publishing Co., 1997, ISBN 0-07-067250-4.

Although specific reference may be made in this text to the use of the apparatus according to the invention in the manufacture of ICs, it should be explicitly understood that such an apparatus has many other possible applications. For example, it may be employed in the manufacture of integrated optical systems, guidance and detection patterns for magnetic domain memories, liquid-crystal display panels, thin-film magnetic heads, etc. The skilled artisan will appreciate that, in the context of such alternative applications, any use of the terms "reticle", "wafer" or "die" in this text should be considered as being replaced by the more general terms "mask", "substrate" and "target area" or "target portion", respectively.

In the present document, the terms illumination radiation and illumination beam are used to encompass all types of electromagnetic radiation or particle flux, including, but not limited to, ultraviolet radiation (e.g. at a wavelength of 365nm, 248 nm, 193 nm, 157nm or 126nm), EUV, X-rays, electrons and ions.

The invention is described below with reference to an orthogonal reference system based on X, Y and Z-axes. The Z direction may be referred to as vertical but this should not, unless the context demands, be taken as implying any necessary orientation of the device.

The present invention will be described below with reference to exemplary embodiments and the accompanying schematic drawings, in which:

Embodiment 1

Figure 1 schematically depicts a lithographic projection apparatus according to the invention. The apparatus comprises:

- a radiation system LA, IL for supplying a projection beam PB of radiation (e.g. UV or EUV radiation, x-rays, electrons or ions);
- a first object table (mask table) MT provided with a mask holder for holding a mask MA (e.g. a reticle), and connected to first positioning means for accurately positioning the mask with respect to item PL;
- a second object table (substrate table) WT provided with a substrate holder for holding a substrate W (e.g. a resist-coated silicon wafer), and connected to second positioning means for accurately positioning the substrate with respect to item PL;
- a projection system ("lens") PL (e.g. a refractive or catadioptric system, a mirror group or an array of field deflectors) for imaging an irradiated portion of the mask MA onto a target portion C of the substrate W.

As here depicted, the apparatus is of a transmissive type (*i.e.* has a transmissive mask).

However, in general, it may also be of a reflective type, for example.

The radiation system comprises a source LA (e.g. a Hg lamp, excimer laser, a discharge plasma source, a laser-produced plasma source, an undulator provided around the path of an

electron beam in a storage ring or synchrotron, or an electron or ion beam source) which produces a beam of radiation. This beam is passed along various optical components comprised in the illumination system  $II$ , — e.g. beam shaping optics  $Ex$ , an integrator  $IN$  and a condenser  $CO$  — so that the resultant beam  $PB$  has a desired form and intensity distribution.

The beam  $PB$  subsequently intercepts the mask  $MA$  which is held in a mask holder on a mask table  $MT$ . Having passed through the mask  $MA$ , the beam  $PB$  passes through the lens  $PL$ , which focuses the beam  $PB$  onto a target portion  $C$  of the substrate  $W$ . With the aid of the interferometric displacement measuring means  $IP$  and the second positioning means, the substrate table  $WT$  can be moved accurately, e.g. so as to position different target portions  $C$  in the path of the beam  $PB$ . Similarly, the first positioning means can be used to accurately position the mask  $MA$  with respect to the path of the beam  $PB$ , e.g. after mechanical retrieval of the mask  $MA$  from a mask library. In general, movement of the object tables  $MT$ ,  $WT$  can be realized with the aid of a long stroke module (course positioning) and a short stroke module (fine positioning), which are not explicitly depicted in Figure 1.

The depicted apparatus can be used in two different modes:

1. In step mode, the mask table  $MT$  is kept essentially stationary, and an entire mask image is projected in one go (i.e. a single "flash") onto a target portion  $C$ . The substrate table  $WT$  is then shifted in the  $X$  and/or  $Y$  directions so that a different target portion  $C$  can be irradiated by the beam  $PB$ ;
2. In scan mode, essentially the same scenario applies, except that a given target portion  $C$  is not exposed in a single "flash". Instead, the mask table  $MT$  is movable in a given direction (the so-called "scan direction", e.g. the  $Y$  direction) with a speed  $u$ , so that the projection beam  $PB$  is caused to scan over a mask image; concurrently, the substrate table  $WT$  is simultaneously moved in the same or opposite direction at a speed  $V = Mu$ , in which  $M$  is the magnification of the lens  $PL$  (typically,  $M = 1/4$  or  $1/5$ ). In this manner, a relatively large target portion  $C$  can be exposed, without having to compromise on resolution.

The apparatus also includes a base frame  $BP$  (also referred to as a base plate or machine frame) to support the components of the apparatus, and a reference frame  $RF$ , mechanically isolated from the base frame  $BP$  to support the projection system  $PL$  and position sensors such as the interferometric displacement measuring means  $IP$ .

Figure 2 shows a balance system according to a first embodiment of the invention, which is used in a wafer stage comprising substrate table  $WT$ , of the lithographic apparatus to provide balancing in three degrees of freedom. The arrangement described below may also be used, with suitable modification, in a reticle stage, comprising mask table  $MT$ , of a lithographic apparatus.

The balancing system of the first embodiment comprises a balance frame 2 (balance mass) which is supported by substantially frictionless bearings 3 so as to be moveable over a guide surface 4 provided on the machine base frame. The frictionless bearings 3 may be aerostatic bearings or hydrostatic or magnetic bearings, for example. Alternatively, if the required range of movement is relatively small, elastic guiding systems such as flexures or parallel leaf springs can be used. The arrangement may also be reversed - *i.e.* the bearings provided in the machine frame and acting against a guide surface on the underside of the balance frame. The guide surface 4 is parallel to the XY plane defined for the apparatus and the balance frame 2 is free to translate in the X and Y directions and to rotate ( $R_z$ ) about axes parallel to the Z direction.

The positioning system 10, shown in Figure 3, is placed within or upon the balancing frame 2 and has relatively large ranges of movement in the X and Y directions. It is important that the center of mass of the positioning system 10 be as close as possible in the Z direction to the center of mass of the balance frame 2. In particular, it is preferred that the vertical separation of the two centers of mass is substantially less than 100 mm and ideally zero.

Elastic posts or buffers 5 limit the movement of the balance frame 2 to prevent it leaving the guide surface 4.

The positioning system is arranged such that the reaction forces acting in opposition to the drive forces exerted on the driven object are transmitted to the balance frame via mechanical or electromagnetic connections. These connections are positioned in or close to the XY plane containing the center of mass of the combined system of balance frame 2 and positioning system 10. The connections may, for example, be aerostatic bearings with bearing surfaces perpendicular to the XY plane or electromagnetic linear actuators with, for example, magnets attached to the balance frame 2 and coils or armatures attached to the positioning system, such that the line of action of the electromagnetic forces lies in the same XY plane as the combined center of mass.

Figure 3 shows such an arrangement where the positioning system 10 is a so-called H-drive. The H-drive 10 comprises an X-beam 11 mounted at or near its ends to respective sliders 12a, 12b. Sliders 12a, 12b carry armatures of linear motors that act in concert with elongate magnet tracks 13a, 13b, which are mounted in the long sides 2a, 2b of rectangular balance frame 2, to translate X-beam 11 in the Y direction. The object to be positioned, in this case wafer table WT, is driven in the XY plane by a further slider 14 which is mounted on X-beam 11. Slider 14, similarly to sliders 12a, 12b, carries the armature of a linear motor to act against a magnet track 15 mounted in X-beam 11 to translate slider 14 along the X-beam and hence position wafer table WT in the X direction. Independent control of the positions of



sliders 12a, 12b allows the angle between X-beam 11 and the balancing frame to be varied and hence the  $R_z$  (rotation about the Z axis) position of the wafer table WT to be controlled within a certain range to compensate for any yaw movements of the balancing frame. It will be appreciated that, for this reason and also due to distortion of the balance frame caused by shear components in the resultant force on the balance frame, the X and Y directions in which the drivers exert forces will not always be exactly orthogonal. By this arrangement, the reaction forces in the Y and  $R_z$  directions are transferred directly to the balance frame 2. Sliders 12a, 12b also carry air bearings 16a, 16b which act against upstanding walls 21a, 21b provided on the balance frame 2 to transmit reaction forces in the X direction to balance frame 2. Instead of a pair of thrust bearings 16a, 16b to transmit the X direction forces, a single pre-loaded bearing or an opposed pad bearing, for example, may be used on one of the two sides and is often preferred as it avoids difficulties with cosine foreshortening when the X-beam 11 is not perpendicular to the balance frame 2.

As illustrated, the positioning system is supported in the Z direction and against  $R_x$ ,  $R_y$  rotations by the balance frame. This function can also be performed by the guide surface 4 for the whole or a part of the positioning system (e.g. the wafer table WT), by a separate surface or surfaces fixed relative to the base frame, or by a combination of the above.

If so-called planar motors are used, reaction forces in the X and Y directions are transmitted to the balance frame via a magnet (or coil) plate in the XY plane. The magnet (or coil) plate may form part of the balance frame in the XY plane, and so desirably increase its mass to reduce its movement range. Again, the magnet (or coil) plate may be supported in  $Z$ ,  $R_x$  and  $R_y$  directions by a second balance mass or by separate means, such as frictionless bearings, over the machine base.

The drive forces exerted on the driven object, in this case the wafer table WT, give rise to equal and opposite reaction forces which, according to the invention, are exerted on the balance frame (balance mass). From Newton's laws, it will be seen that the ratio of the displacements of the driven object and the balance mass is inversely proportional to their mass ratio, i.e.:-

$$\frac{x_1(t)}{x_2(t)} = -\frac{m_2}{m_1} \quad [1]$$

where  $x_i$  is the displacement of mass  $i$  relative to the common center of gravity and  $m_i$  is the mass of mass  $i$ . In this context it should be noted that the balance mass ratio may vary according to the direction in which displacement occurs. In the present embodiment, the X-beam 11 and Y-sliders 12a, 12b move with the wafer table WT for displacements in the Y-direction whereas the wafer table moves relative to the X-beam 11 for displacements in the X-direction. Thus the driven mass for displacements in the Y-direction is the combined mass of the wafer table WT, X-slider 14, X-beam 11 and Y-sliders 12a, 12b. On the other hand, for displacements in the X-direction, the driven mass is only the mass of the wafer table WT and X-slider 14; the X-beam and Y-sliders instead form part of the balance mass. Since the X-beam and Y-sliders have a similar mass to the wafer table WT and X-slide 14, this can make a significant difference to the balance mass ratio.

By making the balance frame 5 to 20 times more massive than the combined moving mass of the positioning system, the motion ranges of the balance frame can be restrained and the overall footprint of the balancing system confined as desired.

If, during positioning, the center of mass of the balance frame is not in line with the center of mass of one of the positioning devices in the X or Y direction, reaction forces in that direction may cause yaw motion of the balance frame. In some cases, e.g. circular motion of the driven object around a point offset from the center of mass of the balance frame, yaw motions can be caused that cumulate over time rather than cancel. To prevent excessive yaw motion, a negative feedback servo system is provided. This control system is also adapted to correct long-term cumulative translations (drift) of the balance frame that might arise from such factors as: cabling to the positioning devices, misalignment of the positioning drives, minute friction in the bearings 3, etc. As an alternative to the active drift control system described below, a passive system, e.g. based on low-stiffness springs, may for example be used.

Figure 4 shows the control loop of a servo system 30 as referred to above. The X, Y and Rz setpoints of the balance mass with respect to the machine frame are supplied to the positive input of subtractor 31, whose output is passed to the servo controller 32. The servo controller controls a three-degree-of-freedom actuator system 33, which applies the necessary corrections to the balance frame 2. Feedback to the negative input of subtractor 31 is provided by one or more multiple-degree-of-freedom measurement systems 34 which measure the position of the balance frame and driven mass. The positions of both balance frame and driven mass may be measured relative to a fixed frame of reference. Alternatively, the position of one, e.g. the balance mass, may be measured relative to the reference frame and the position

of the driven mass measured relative to the balance mass. In the latter case the relative position data can be transformed to absolute position data either in software or by hardware.

The set points of the servo system 30 are determined so as to ensure that the combined center of mass of the positioning device(s) and balance frame 2 remains unchanged in the XY plane. This defines the condition:

$$m_1 \cdot \vec{u}_1(t) + m_2 \cdot \vec{u}_2(t) = m_1 \cdot \vec{u}_1(0) + m_2 \cdot \vec{u}_2(0) \quad [2]$$

where  $\vec{u}_i(t)$  is the vector displacement of mass  $i$  in the X-Y plane at time  $t$  relative to a fixed reference point. The error signal between the calculated (using equation [2]) and measured positions is provided to the actuation system 33, which applies appropriate correction forces to the balance frame 2. The lowest resonance mode of the balancing frame and/or machine base is at least a factor of five higher than the servo bandwidth of the drift control system.

To minimize cumulative yaw motions of the balancing frame, the control mode is configured with a low servo bandwidth but a fixed setpoint (e.g. zero yaw). Similar to a passive (e.g. spring) drift control, the servo bandwidth for yaw serves as a low-pass filter to minimize transient moments on the machine base about the yaw axis. In other words, only reaction forces to correct long-term (low frequency) movements are transmitted to the base frame.

Figure 5 shows a drift control actuation system 33a according to a first variation of the first embodiment. This system comprises three Lorentz(force)-type linear motors (e.g. voice coil motors, ironless multi-phase linear motors, etc.) 331, 332, 333. Two of these motors 331, 332 act in one direction, e.g. the X direction, and are spaced apart widely in the other, e.g. Y. The third motor 333 acts in the other direction, e.g. Y, and through or near to the combined center of mass of the balancing frame. The drivers are preferably Lorentz force motors having a magnet plate or coil elongate in the direction perpendicular to the direction in which they act so that they can exert a force in the given direction irrespective of the position of the balance frame 2 in the perpendicular direction.

The above arrangement, using three drivers, is advantageous as being the simplest possible arrangement, but if the balance frame 2 is an open rectangle with limited resistance to shear, four motors may be used, each acting along or close to the neutral axis of one side member of the frame, thereby to minimize bending of the frame members. Such an arrangement is shown in Figure 6. Here, four drivers 334a, 334b, 334c, 334d are used - one at each corner, arranged to exert force parallel to and in line with a respective one of the four beams 2a, 2b, 2c, 2d. Each of the four drivers can be, as before, Lorentz type linear motors. A

further alternative is to use two planar motors, each exerting forces in the X and Y directions, to provide combined control in X, Y and  $R_z$ .

An alternative form of driver 334 is shown in Figure 7, which is a side view, and Figure 8, which is a sectional view along line I-I in Figure 7. Driver 334 consists of a rotary Lorentz motor 335 (such as an ironless moving coil motor, a DC or AC brushless motor, etc.) mounted on the base or machine frame BP and connected to the balance frame 2 by a rotary-linear motion transformer 336. The rotary-linear motion transformer 336 comprises a disc 336a attached rigidly to the drive shaft 335a of the motor 335 and having an eccentrically mounted pin 336b. Pin 336b forms an axle for two wheels 336c, 336d which engage a coupling frame 336e mounted on the balance frame 2. Coupling frame 336e is elongate perpendicular to the direction of action of the force to be exerted on the balance frame and generally C-shaped in cross-section. It surrounds the wheels 336c, 336d so that each engages a respective one of opposed bearing surfaces 336g, 336f. Bearing surface 336f faces towards balance frame 2 and bearing surface 336g faces away. Thereby, if motor 335 is energized to rotate disc 336a clockwise in Figure 8, wheel 336c will be caused to bear on surface 336g and exert a leftwards push force on balance frame 2. Similarly anticlockwise rotation of disc 336a would exert a pull force rightwards on balance frame 2.

Rotary-linear motion transformer 336 is arranged to be substantially friction free and reversible with no play so that drift actuation control can be carried out in a force mode rather than a position mode. The position of balance frame 2 can additionally be measured via rotary encoders (not shown) provided on disc 336a.

A further alternative drift control system is illustrated in Figure 9, which is a plan view of the balance frame 2, and Figure 10, which is an enlarged view of one of the drive mechanisms 337 used in this alternative. Drive mechanism 337 is a so-called "double scara mechanism" which consists of two crank-con'rod mechanisms connected to a common pivot point. Each crank-con'rod mechanism consists of a crank 337a driven by a Lorentz-type torque motor 337b and a con'rod 337c connecting the end of crank 337a to common pivot point 337d. Torque motor 337b is mounted on the base frame BP and its drive shaft fixed against translation so that reaction forces are transferred to the base frame BP.

The drift actuation system of Figures 9 and 10 is over-determined since only three drives are sufficient to control the balance frame in three degrees of freedom but the additional motor provides the same benefits as that of the arrangement of Figure 6.

The position and orientation of the balance frame 2 can be determined from the crank angles, which may be measured by rotary encoders provided on the drive shafts of motors 337b. In the servo control system, two coordinate transforms are provided: one to convert

information of the angular position of the cranks 337a to X, Y, Rz coordinates of the position of the balance mass 2; and one to convert the forces determined by the controller 33 into torques for the drive motors 337b.

As mentioned, the above-described drift control arrangements may include linear or rotary position sensors incorporated into the linear or rotary drive mechanisms. Alternatively an independent position measuring system, e.g. a grid encoder or a 2-dimensional position sensing detector, may be employed. Such a system may have multiple outputs which can be transformed into X, Y and Rz coordinates or may provide independent measurement of the XY positions of two points on the balancing frame, preferably diagonally opposite corners. Such a positioning mechanism may measure the position of the balance frame 2 relative to the base frame or, in ultra-precision machines, to a vibration-isolated metrology frame.

To prevent the balance frame 2 from drifting out of range, e.g. in the event of an error situation, a stroke limiting device may be provided between the balancing frame and the base frame. An example of such a device is shown in Figure 11 which is a view showing a cross-section through the lower part of the balancing frame 2. In this device, three pins 40 project upwardly from the bearing surface 4 of the base frame BP and engage open-ended slots 41 in the balance frame 2. The slots 41 and pins 40 are sized and arranged to confine movement of the balance frame 2 to a predefined envelope in X, Y and Rz. The pins 40 may be resilient or spring-loaded to cushion any shock to the balance frame 2 in the event of a crash. The stroke limiting device may be kinematically inverted, with pins projecting from the balance frame 2 engaging in slots on the base frame BP.

If it is not possible to arrange that the centers of mass of the positioning devices and the balance frame 2, as well as the driving forces of the various actuators, lie in the same XY plane, driving forces acting at the offset will cause tilting moments  $T_x$ ,  $T_y$ , i.e. moments tending to rotate the balance frame 2 and the positioning devices around the X and Y axes. If the balance frame 2 is supported in the Z, Rx and Ry directions with relatively high stiffness, tilting moments  $T_x$ ,  $T_y$  will be transmitted to the base frame BP and cause vibrations there. Also, although coarse positioning is usually only performed in the X, Y and Rz directions, fine positioning actuators included in substrate table WT for the moveable object are commonly capable of positioning in all six degrees of freedom. The reaction forces from motions of the fine positioning system in Z, Ry, Rx, as well as the other degrees of freedom, can also cause vibrations if transmitted to the base frame BP.

Accordingly, the balance frame 2 is supported in the Z, Rx and Ry directions with low stiffness supports, comprised in bearings 3. Such supports may be low-stiffness frictionless bearings or elastic or gas springs in combination with frictionless bearings. Large-gap air

bearings may also be used. As with the use of passive components to control drift in X, Y and Rz directions, the spring constants are chosen so that the Eigen-frequency of the balance frame mass-spring system is substantially lower, e.g. by a factor of 5 to 10, than the lowest fundamental frequency of the motion of the positioning devices. Should the wafer table WT be supported in Z, Rx, Ry by the guiding surface 4 on the base frame rather than on the balance frame, the base frame member providing guiding surface 4 can be treated as a second balance mass for Z, Rx and Ry and be passively supported as described.

## Embodiment 2

The substrate stage, comprising substrate table WT, of a second embodiment of the invention, which may be the same as the first embodiment save as described below, is shown in Figure 12.

In the second embodiment, the balance mass 406 takes the form of an open box with a flat interior base 407, forming a guide surface for the wafer table WT, and upstanding side walls 408 serving to raise the center of gravity of the balance mass 406. The substrate table WT includes a fine positioning mechanism 417 operating in 6 degrees of freedom for the substrate W and a so-called air-foot forming a substantially frictionless bearing allowing the substrate table WT to be moved over the guide surface 407.

Movement of the substrate table WT is effected by the coarse positioning mechanism. This includes X-beam 415 relative to which the substrate table WT is driven by an X-driver (not shown) which has at its ends sliders 411 which include the translators of Y-direction linear motors to drive the X-beam, and hence the substrate table WT, in the Y direction and by applying different forces to the opposite ends of the X-beam in Rx. The stators 409 of the Y-direction linear motors are provided in shoulders of the balance mass 406. Y-direction and Rx reaction forces from movement of the substrate table are thus directly applied to the balance mass 406. X-direction reaction forces are transferred to the balance mass 406 via bearings between the slides 411 and the sidewalls 408 of the balance mass 406.

Because the substrate table WT is guided over the base 407 of the balance mass 406, Z, Ry and Rz reaction forces from the corresponding movements of the substrate WT by the fine positioning mechanism 417, are also transmitted directly to the balance mass 406. Any tilting movements Tx, Ty arising from imperfect adjustment of the centers of gravity of the substrate table WT and balance mass 406 as well as the lines of force exerted by the X- and Y-drives, are also transmitted to the balance mass 406 via the air-pot 419 and the stiffness of the Y-linear motors.

To enable the balance mass 406 to absorb the reaction forces in all six degrees of freedom it must be free to move in all six degrees of freedom. This is achieved by supporting it from the base frame BP by a plurality of supports 403, which have a low stiffness in the Z-direction, and substantially frictionless bearings 405, which bear on the lower surface of balance mass 406. The lower surface of balance mass 406 is flat, or has flat regions of sufficient size to accommodate the maximum expected or allowed range of movement of balance mass 406. Since the balance mass 406 is much, e.g. 5 to 10 times, heavier than the substrate table WT, the range of movement of the balance mass 406 will be much less than the range of movement of the substrate table WT.

### Embodiment 3

Figure 13 depicts the substrate stage, comprising substrate table WT, of a third embodiment of the invention, which may be the same as the first or second embodiments described above.

In the third embodiment, the balance mass is divided into two parts 506, 507. The first balance mass part 506 comprises a rectangular frame surrounding the substrate table WT. Opposite sides of the first balance mass part 506 have mounted thereon the stator, e.g. the magnet track, of the Y-direction linear motors. The translators, e.g. coils, of the Y-direction linear motors, are mounted in sliders 511 at the ends of X-beam 515. The X-beam includes the stator of X-linear motor and the translator is mounted to the substrate table WT. Y- and R<sub>y</sub>-reaction forces from the Y linear motor, which forms the coarse positioning mechanism together with the X-linear motor, are transmitted directly to the first balance mass part 506 and the X-reaction forces are transmitted via thrust bearings (not shown). To absorb the X- and Y-reaction forces, the first balance mass part 506 is supported by substantially frictionless bearings, e.g. air bearings, 505 allowing it to move in X, Y and R<sub>x</sub>.

Second balance mass part 507 takes the form of a plate and is disposed underneath the substrate table WT. Its upper surface 508 is flat and forms a guide surface over which the substrate table WT is borne by air foot 519. In this way, any reaction forces in Z, R<sub>x</sub> and R<sub>y</sub> from movements of the wafer W by fine positioning mechanism 517 are transmitted to second balance mass part 507, which is supported from the base frame BP by a plurality of supports 503 having a low stiffness in the Z-direction. These supports may be, for example, mechanical or gas springs.

### Embodiment 4

A fourth embodiment of the invention is a modification of the second embodiment for use in a vacuum. The substrate stage, including substrate table WT, is shown in Figure 14.

As in the second embodiment, the balance 606 takes the form of an open box. In this embodiment, the base of the box includes the stator 627, e.g. magnet array, of a planar motor whose translator 635 is mounted to the wafer table WT. More information on a planar motor can be gleaned from United States Patent 5, 886, 432, which is incorporated herein by reference. As before, upstanding walls 625 serve to raise the center of gravity of the balance mass 606 to the same horizontal plane as that of the substrate table WT. The planar motor 627, 635 may be arranged to levitate as well as translate the substrate table or additional bearings can be provided. Reaction forces from the X, Y and possibly, Rz translations of the planar motor are channeled to the balance mass 606.

#### Embodiment 5

A fifth embodiment of the invention is a modification of the fourth embodiment as shown in Figure 15. As in the fourth embodiment the substrate table WT is movable in the plane of the stator 627 of the planar motor (i.e. the X and Y direction). Reaction forces from the X, Y and Rz movements of the coarse positioning mechanism (planar motor) are transmitted directly to the balance mass 606. Reaction forces in all degrees of freedom for the fine position mechanism 617 are transmitted through the stiffness of the planar motor or additional bearings provided for the substrate table to the balance mass 606. The balance mass is mounted on bearings 605 and low-stiffness supports 603 in the same way as the second embodiment.

Whilst we have described above specific embodiments of the invention, it will be appreciated that the invention may be practiced otherwise than described. The description is not intended to limit the invention. In particular it will be appreciated that the invention may be used in the reticle or mask stage of a lithographic apparatus and in any other type of apparatus where fast and accurate positioning of an object in a plane is desirable.



#### 4 Brief Description Of Drawings

Figure 1 depicts a lithographic projection apparatus according to a first embodiment of the invention;

Figure 2 is a plan view of a balance mass of the present invention in the substrate stage of the apparatus of Figure 1;

Figure 3 is a view similar to Figure 2 but additionally showing the drive arrangement for the substrate table;

Figure 4 is a diagram of the servo system of the balance system of Figure 2;

Figure 5 is a plan view of the drift control arrangement of a first variation of the balance system of the first embodiment;

Figure 6 is a plan view of the drift control arrangement of a second variation of the balance system of the first embodiment;

Figure 7 is an enlarged side view of a driver of the drift control arrangement of Figure 6;

Figure 8 is a cross-sectional view of the driver along line I-I of Figure 7;

Figure 9 is a plan view of the drift control arrangement of a third variation of the balance system of the first embodiment;

Figure 10 is an enlarged plan view of a driver of the drift control arrangement of Figure 9;

Figure 11 is a plan view of a fourth variation of the first embodiment, showing stroke limiters;

Figure 12 is a cross-sectional view of a substrate stage of a second embodiment of the invention;

Figure 13 is a cross-sectional view of a substrate stage of a third embodiment of the invention; and

Figure 14 is a cross-sectional view of a substrate stage of a fourth embodiment of the invention.

Figure 15 is a cross-sectional view of a substrate stage of a fifth embodiment of the invention.

In the drawings, like references indicate like parts.

Fig. 1

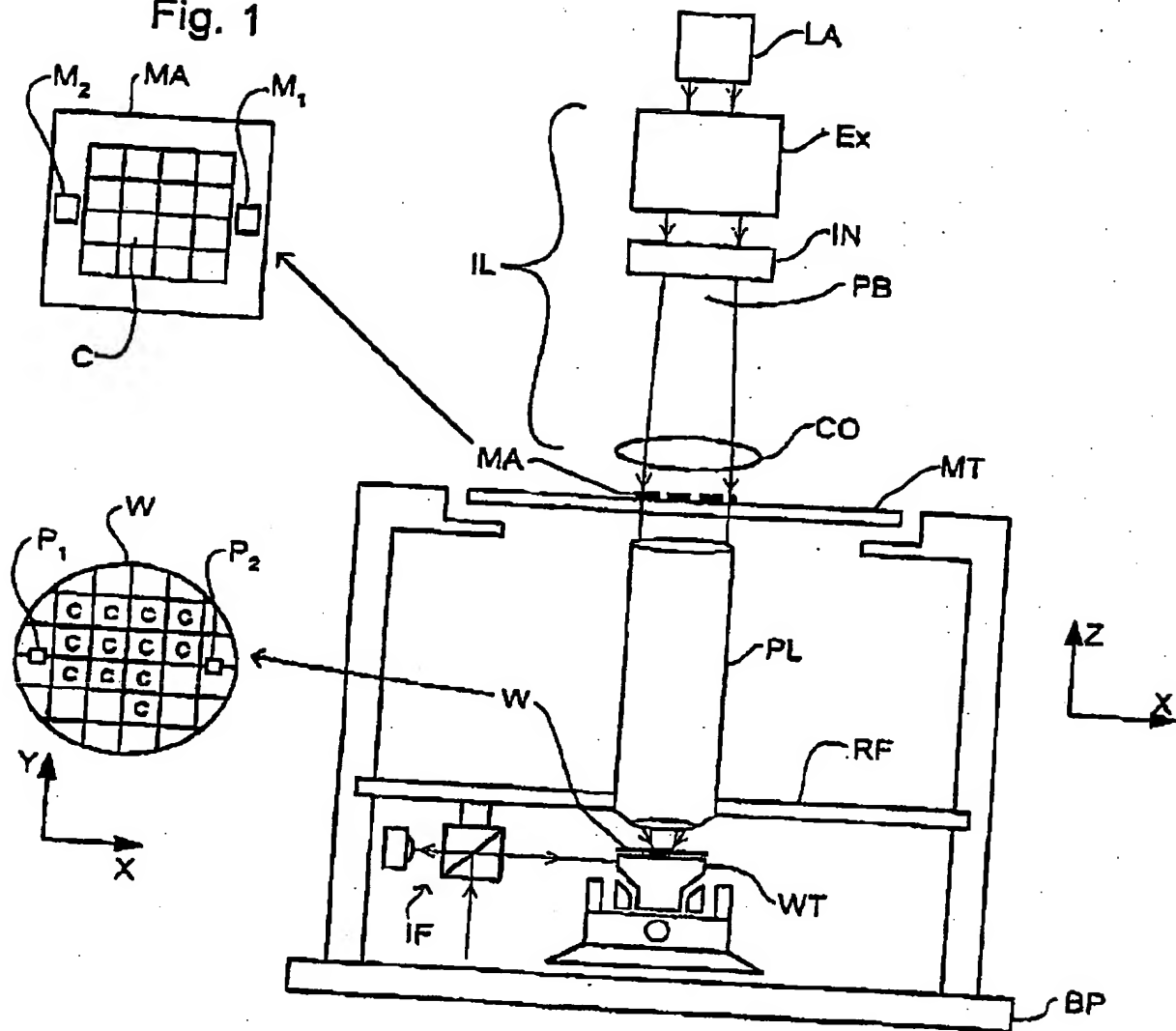


Fig. 2

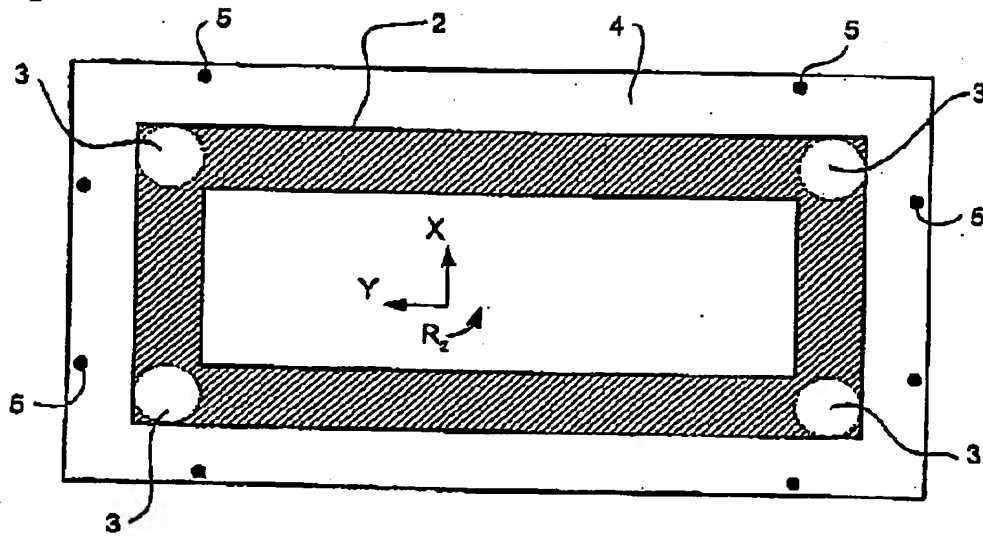


Fig. 3

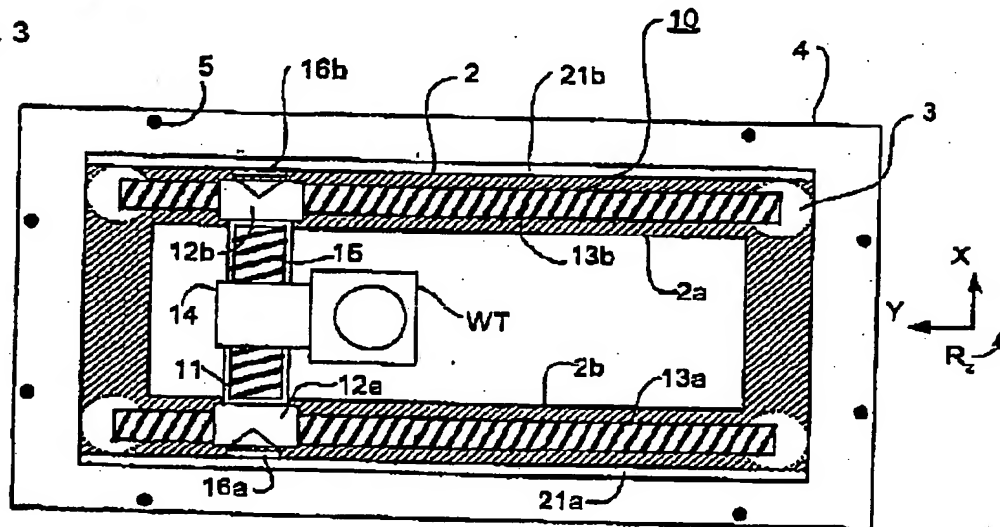
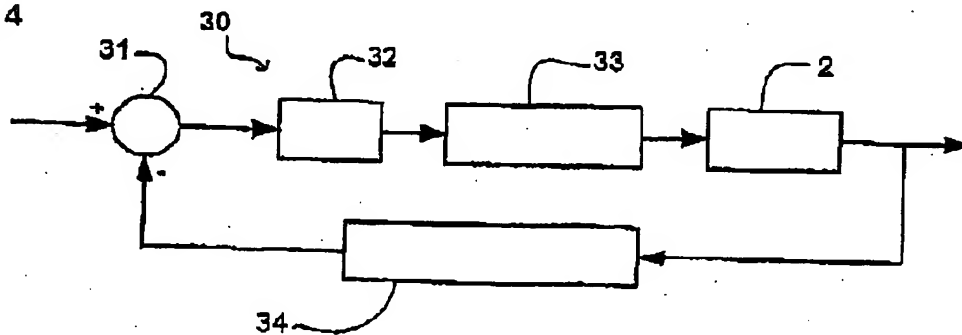
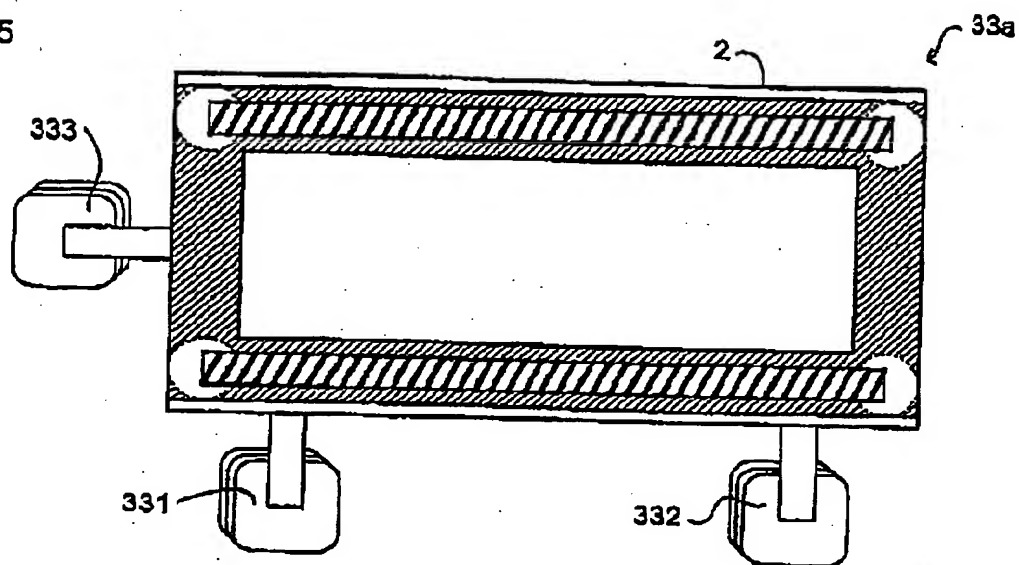


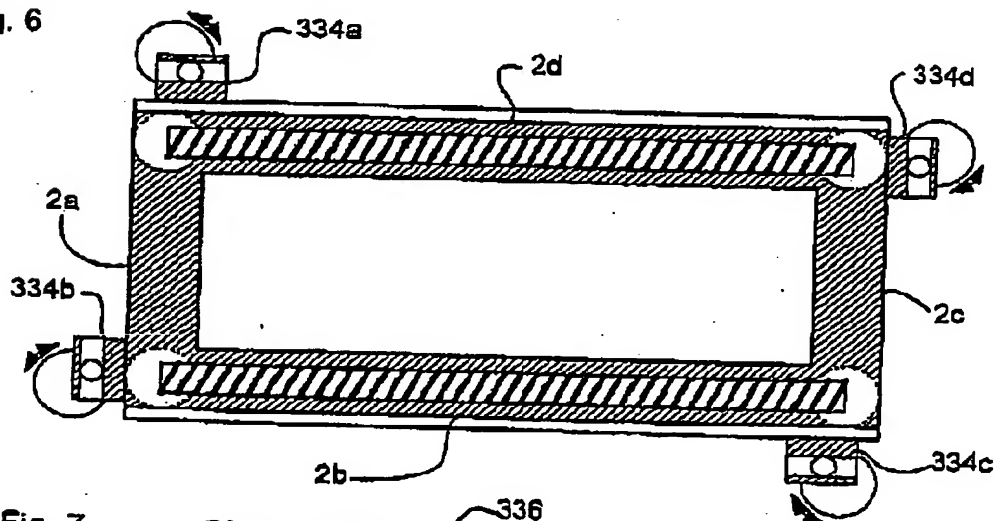
Fig. 4



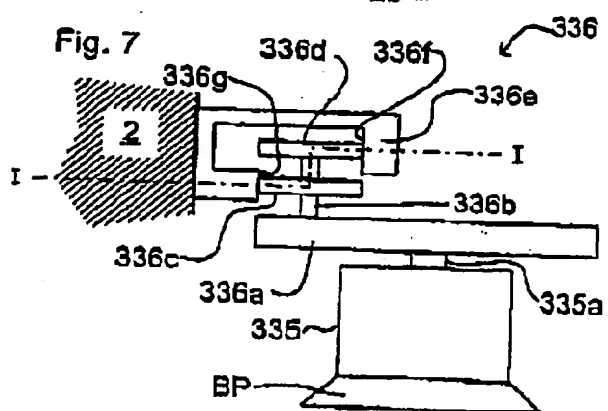
**Fig. 5**



**Fig. 6**



**Fig. 7**



**Fig. 8**

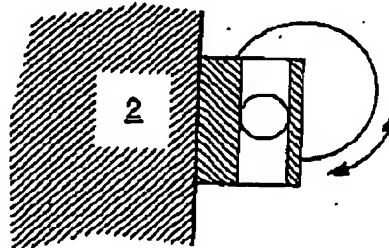


Fig. 9

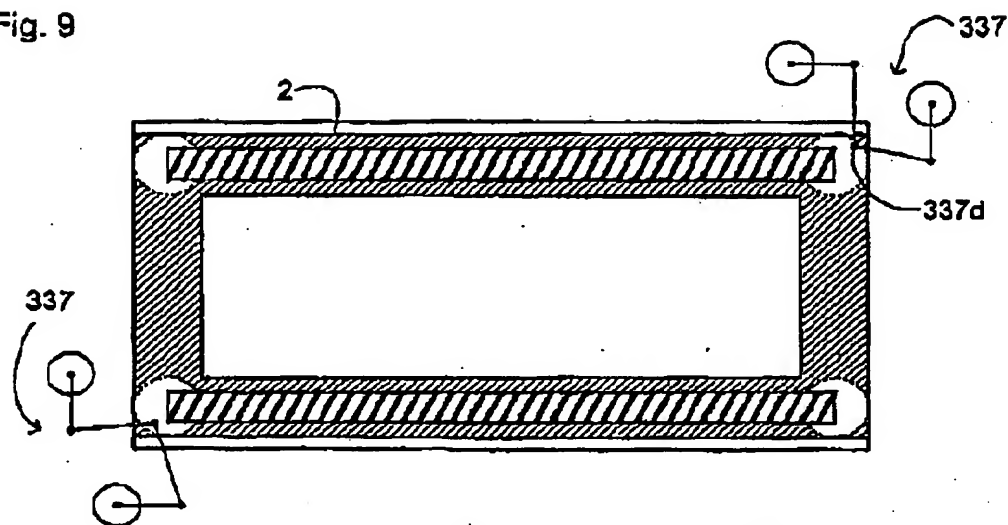


Fig. 10

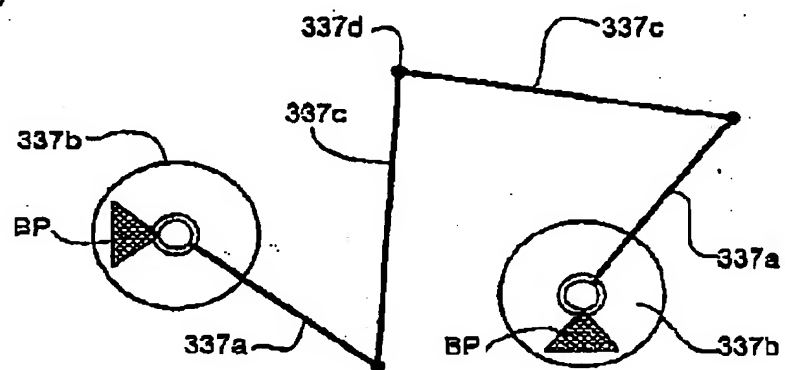


Fig. 11

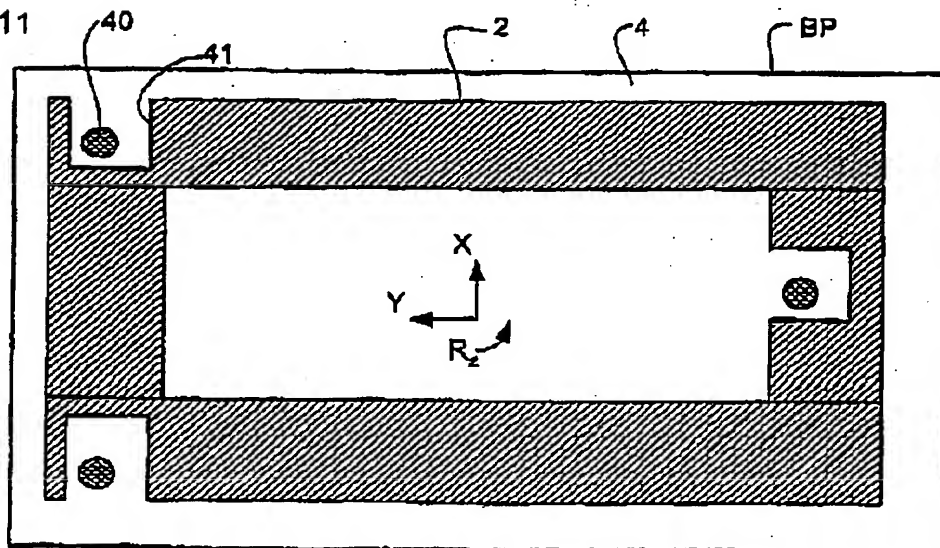


Fig. 12

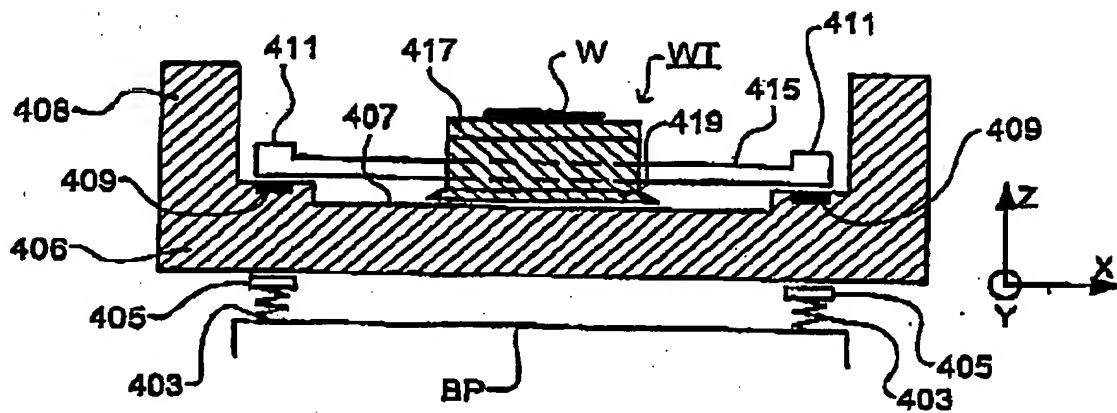


Fig. 13

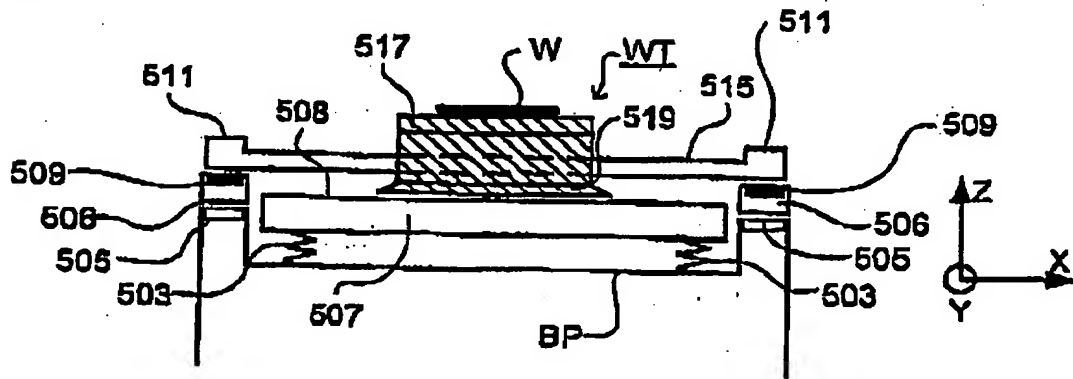


Fig. 14

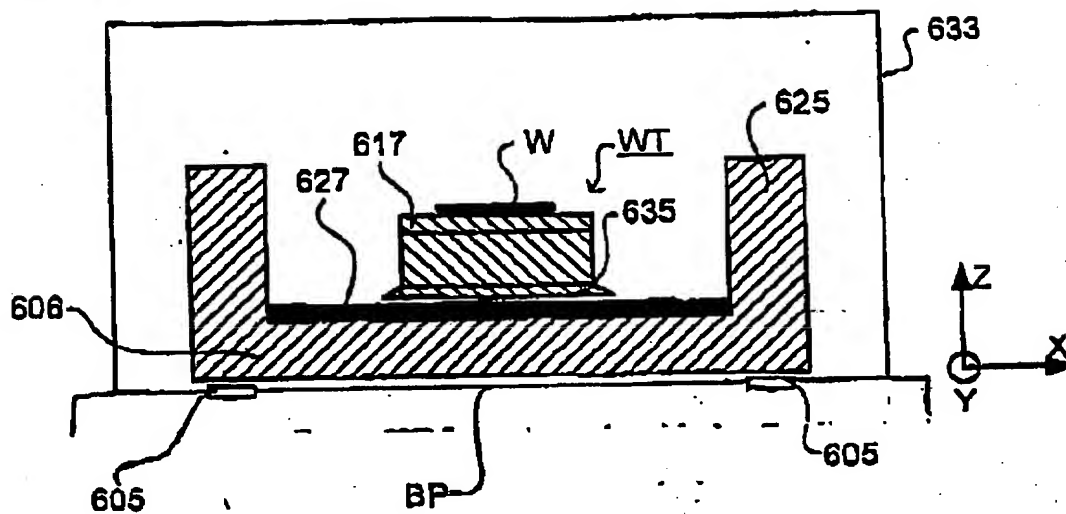
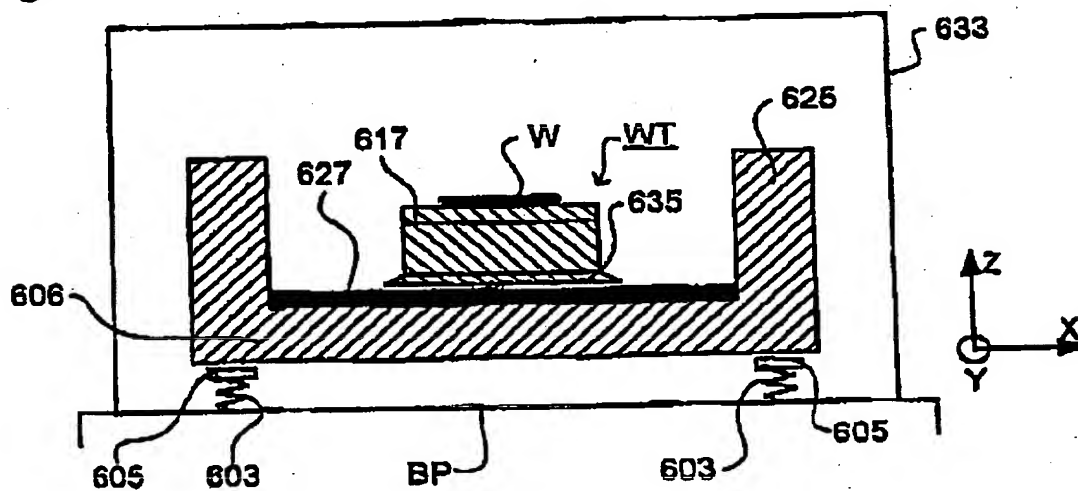


Fig. 15



1 Abstract

A balanced positioning apparatus comprises a balance mass which is supported so as to be moveable in the three degrees of freedom, such as X and Y translations and rotation about the Z-axis. Drive forces in these degrees of freedom act directly between the positioning body and the balance mass. Reaction forces arising from positioning movements result in corresponding movement of the balance mass and all reaction forces are kept within the balanced positioning system. The balance mass may be a rectangular balance frame having the stators of two linear motors forming the uprights of an H-drive mounted on opposite sides. The cross-piece of the H-drive spans the frame and the positioned object is positioned within the central opening of the frame.

2 Representative Drawing

Fig. 2